



**การศึกษาความจุของเครือข่ายระบบ CDMA  
(Capacity Study of CDMA Networks)**

**โดย**

**นายจิตรศ สายสุทธิ**

**รหัสนักศึกษา B4601210**

**นายศุภกร วรรณพันธ์**

**รหัสนักศึกษา B4602088**

**รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษารายวิชา 427499 โครงงานวิศวกรรมโทรคมนาคม**

**ประจำภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2549**

**หลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ.2541**

**สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี**

หัวข้อโครงการ	Capacity Study of CDMA Networks	
(ภาษาไทย)	การศึกษาความจุของเครือข่ายระบบซีดีเอ็มเอ	
นักศึกษา	นายจิตรศ สายสุทธิ์	รหัสนักศึกษา B4601210
	นายศุภกร วรรณพันธ์	รหัสนักศึกษา B4602088
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
พ.ศ.	2549	
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์ ดร.วิภาวี หัตถกรรม	

### บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบ CDMA (Code Division Multiple Access) ซึ่งเกี่ยวข้องกับ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของผู้ใช้บริการด้านเสียงในระบบกับค่าเอสไออาร์ (Signal to Interference Ratio) เพื่อศึกษาความจุของระบบ และสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อความจุของระบบ CDMA โดยได้ทำ การนำเสนอในรูปแบบกราฟฟิก โดยการเขียนโปรแกรม GUI (Graphic User Interface) ด้วย MATLAB

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. วิภาวี หัตถกรรม ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคอยให้คำแนะนำในโครงการเมื่อเกิดปัญหาต่าง ๆ มาโดยตลอดตั้งแต่เริ่มต้นทำโครงการ จนกระทั่งโครงการนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่านและอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่เป็นผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า

ขอกราบขอบพระคุณนางสาวสุนิสา จบศรี และ นายอำนวย ที่จันทัก นักศึกษาปริญญาโทสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมที่ให้การสนับสนุนและคอยช่วยเหลือรวมทั้งให้คำแนะนำต่างๆ และท้ายที่สุดเพื่อนนักศึกษาสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกคนที่เป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้ารวมทั้งผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจที่ดีเสมอมา และคอยห่วงใย ให้โอกาส ให้การสนับสนุนทางการศึกษามาโดยตลอด

คุณความดีอันใดที่เกิดจากโครงการฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายจิตรศ สายสุทธิ

นายศุภกร วรรณพันธ์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	ง
สารบัญตาราง	ฉ
 <b>บทที่ 1 บทนำ</b>	 1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตการทำงาน	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
 <b>บทที่ 2 หลักการพื้นฐานของระบบซีดีเอ็มเอ</b>	 3
2.1 กลไกพื้นฐานที่มีผลกระทบต่อลักษณะการแพร่กระจายของคลื่น	3
2.1.1 การสะท้อน (Reflection)	3
2.1.2 การเลี้ยวเบน (Diffraction)	3
2.1.3 การกระเจิง (Scattering)	3
2.2 ลักษณะการแพร่กระจายของคลื่น	3
2.2.1 การสูญเสียตามระยะทาง (Path Loss)	3
2.2.2 การถูกบดบัง (Shadowing หรือ Large-Scale Fading)	4
2.2.3 การหลายวิถี (Multipath Fading หรือ Small-Scale Fading)	6
2.3 หลักการพื้นฐานของ CDMA (Code Division Multiple Access)	6
2.3.1 สัญญาณแทรกสอดในการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป (Forward Link Interference)	7
2.3.1.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ (Same-Cell Interference)	7
2.3.1.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น (Other-Cell Interference)	9
2.3.2 สัญญาณแทรกสอดในการสื่อสารเชื่อมโยงกลับ (Reverse Link Interference)	12
2.3.2.1 การแทรกสอดภายในเซลล์ (Same-Cell Interference)	12
2.3.2.2 การแทรกสอดจากเซลล์อื่น (Other-Cell Interference)	12
2.3.3 ความจุในระบบเซลล์ลู่ลาร์ซีดีเอ็มเอ	13

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3.1 การควบคุมกำลังแบบลูปเปิด (Open Loop Power Control)	21
2.3.3.2 การควบคุมกำลังแบบลูปปิด (Close Loop Power Control)	22
<b>บทที่ 3 หลักการพื้นฐานของทราฟฟิกของระบบซีดีเอ็มเอ</b>	24
3.1 หลักการพื้นฐานของทราฟฟิกในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่	24
3.2 ระดับการบริการ (Grade of Service)	26
3.2.1 เออร์แลง-บี (Erlang-B)	26
3.2.2 เออร์แลง-ซี (Erlang-C)	29
3.3 ความจุเออร์แลงของระบบซีดีเอ็มเอ	32
<b>บทที่ 4 การวิเคราะห์ความจุของระบบซีดีเอ็มเอ สำหรับการสื่อสารด้านเสียง</b>	35
4.1 แบบจำลองของระบบและการวิเคราะห์	35
4.2 ความจุของระบบซีดีเอ็มเอแบบเซลล์เดียว (Single Cell CDMA Capacity)	37
4.3 ความจุของระบบซีดีเอ็มเอแบบหลายเซลล์ (Multiple Cell CDMA Capacity)	38
<b>บทที่ 5 การออกแบบและการใช้งานโปรแกรม</b>	43
5.1 ส่วนของ Graphic User Interface	43
5.1.1. ส่วนหน้าต่างแสดงผล	44
5.1.2. ส่วนเมนูบาร์	45
5.1.3. ส่วนอินพุต	46
5.1.4. ส่วนเอาต์พุต	46
5.1.5. ส่วนปุ่มคำสั่ง	47
5.1.6. ส่วนการตกแต่งโปรแกรม	48
5.2 ส่วนของ การแสดงรูปภาพที่อยู่ใน Axes	48
5.2.1. ส่วนของรังผึ้ง	48
5.2.2. ส่วนของการพลอตจุดที่ผู้ใช้บริการที่เข้าใช้งานในระบบ	49
5.2.3. ส่วนของการพลอตจุดที่ผู้ใช้บริการออกจากระบบ	49
5.2.4. ส่วนของการพลอตจุดที่แสดงการเกิดการบล็อก	50
5.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม	52

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.4 ผลการวิเคราะห์เชิงเลขของระบบ	56
5.5 สรุปผลการวิเคราะห์เชิงเลขของระบบ	58
<b>บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ</b>	59
6.1 บทสรุป	59
6.2 ปัญหาและอุปสรรค	59
6.3 ขีดจำกัดของโครงการ	60
6.4 ประโยชน์ที่ได้จากการทำโครงการ	60
6.5 การนำไปใช้งานของโครงการ	60
6.6 ข้อเสนอแนะ	60
 บรรณานุกรม	 61
ประวัติผู้เขียน	62
ภาคผนวก (ก)	63
ภาคผนวก (ข)	70

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงระยะทางของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง	10
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะและรัศมีเซลล์ในระบบเซลลูลาร์	10
รูปที่ 2.3 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง (Forward link) ในระบบเซลลูลาร์ CDMA	11
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะทางกายภาพของสัญญาณรบกวนแทรกสอดในการสื่อสาร เชิงโงยงกลับ	13
รูปที่ 2.5 แสดงกำลังของสัญญาณในระบบ CDMA	16
รูปที่ 2.6 แสดงกำลังจากผู้ให้บริการสองรายในสถานีฐาน โดยผู้ให้บริการที่สองมีค่า SNR มากกว่าผู้ให้บริการที่หนึ่ง	20
รูปที่ 2.7 แสดงการควบคุมกำลังที่สมบูรณ์	20
รูปที่ 2.8 แสดงความจุที่ได้สูงสุดเมื่อกำลังที่รับได้ของผู้ให้บริการ ทั้งหมดมีค่าเท่ากันที่สถานีฐาน	21
รูปที่ 3.1 แสดงสถานะของห่วงโซ่มาร์คอฟสำหรับเออร์แลง-บี	27
รูปที่ 3.2 แสดงสถานะของห่วงโซ่มาร์คอฟสำหรับเออร์แลง-บี ที่สภาวะคงตัว	28
รูปที่ 3.3 แสดงสถานะของห่วงโซ่มาร์คอฟสำหรับเออร์แลง-ซี	30
รูปที่ 4.1 แบบจำลองของโครงข่ายเซลลูลาร์	41
รูปที่ 5.1 แสดงหน้าต่างการทำงานของโปรแกรม	43
รูปที่ 5.2 แสดงรูปร่าง (Cellular) ในกรณีที่ไม่เกิดการ	50
รูปที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ให้บริการที่เป็นแบบเอกทิฟ และจำนวนผู้ให้บริการ ในขณะที่ไม่มีการบล็อก	51
รูปที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าเอสไออาที่สถานีฐานรับได้กับค่าเอสไออาที่ต้องการหรือ ค่าเอสไออาเริ่มต้นที่ระบบสามารถยอมรับได้ในกรณีที่ไม่มีการบล็อก	52
รูปที่ 5.5 แสดงรูปร่าง (Cellular) ในกรณีที่เกิดการบล็อก	53
รูปที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ให้บริการที่เป็นแบบเอกทิฟและ จำนวนผู้ให้บริการในขณะที่มีการบล็อก	54
รูปที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าเอสไออาที่สถานีฐานรับได้กับค่าเอสไออาที่ต้องการหรือ ค่า SIR เริ่มต้นที่ระบบสามารถยอมรับได้ในกรณีที่มีการบล็อก	55
รูปที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าสูงสุดของผู้ให้บริการที่เป็นแบบเอกทิฟกับ ค่าสูงสุดของความจุของระบบขณะเกิดการบล็อก ณ ระดับค่าเอสไออาเริ่มต้นที่ สถานีฐานสามารถยอมรับได้ (SIR requirement) เมื่อกำหนดให้ปริมาณ	

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
กราฟฟิคมีค่าเป็น 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 เฮอร์แรงตามลำดับ	57
รูปที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของการเกิดบล็อกเมื่อระดับเอสไออา เริ่มต้น ที่สถานีฐานสามารถยอมรับได้ มีค่าเป็น -14.157, -11.146, -9.385, -8.136 และ-7.167 dB ตามลำดับ	58



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ระยะห่างของเซลล์วงแหวนในระบบเซลลูลาร์	11
ตารางที่ 4.1 แสดงพารามิเตอร์ของระบบ CDMA ที่รองรับการบริการด้านเสียง IS-95	37
ตารางที่ 4.2 รายละเอียดของ CDMA ชนิดแถบความถี่กว้าง (3 G)	38

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบัน ความต้องการสำหรับการบริการสื่อสารมัลติมีเดียมีสูงขึ้นในการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย เช่น การบริการด้านเสียง รูปภาพหรือภาพเคลื่อนไหว และข้อมูลต่างๆ ปัจจุบันได้มีการนำเอาเทคโนโลยี CDMA (Code Division Multiple Access) มาใช้เป็นพื้นฐานหลักสำหรับการพัฒนาไปสู่ระบบที่สามารถรองรับ และให้บริการสื่อสารมัลติมีเดียแบบไร้สายได้อย่างเต็มรูปแบบมากขึ้น และใช้รองรับบริการสื่อสารมัลติมีเดียในระบบการสื่อสารไร้สายในศตวรรษถัดไป (Next Generation Wireless System) เนื่องจากระบบโทรศัพท์ในอนาคตก่อนหน้านี้จะทำงานบนพื้นฐานของระบบ CDMA แบบทั้งคลื่น

ด้วยข้อจำกัดของ CDMA คือ สัญญาณแทรกสอดจากจำนวนผู้ใช้บริการในระบบหมายความว่า เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการในระบบเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ค่าความจุของระบบลดลง เนื่องจากระบบ CDMA ใช้วิธีการแผ่กว้างทางสเปกตรัม (Spread Spectrum) โดยผู้ใช้งานจะได้รับรหัส (Code Sequence) ที่แตกต่างกัน และสามารถใช้ความถี่และช่องสัญญาณเวลาเดียวกันได้

ดังนั้นการศึกษาปริมาณความจุของระบบ CDMA จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่ง

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาระบบการสื่อสารไร้สายของเทคโนโลยี CDMA
2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความจุของระบบ CDMA
3. ศึกษาการใช้งาน Graphic User Interface และฟังก์ชันต่างๆ ของโปรแกรม MATLAB เพื่อการคำนวณและแสดงผล
4. เพื่อรวบรวมความรู้ที่ได้ศึกษาจากภาคทฤษฎีมาใช้งานได้จริง

#### 1.3 ขอบเขตการทำงาน

สำหรับการศึกษาของโครงการนี้ เราจะศึกษาการออกแบบโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ความจุของระบบ CDMA ด้วย Graphic User Interface ของโปรแกรม MATLAB เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณผู้ใช้บริการด้านเสียงในระบบ CDMA กับค่าเอสไออาร์ (Signal to Interference Ratio) รวมถึงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อความจุของระบบ

#### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาการสื่อสารไร้สายของระบบ CDMA
2. ศึกษา GUI (Graphic User Interface) และการใช้ฟังก์ชันต่างๆของ MATLAB เพื่อใช้ในการออกแบบโปรแกรม
3. ออกแบบ Function ที่จำเป็นในส่วน GUI สำหรับใช้ในการเชื่อมการทำงานต่าง ๆ ในส่วนการคำนวณหลักของโปรแกรมเข้ากับส่วนที่เป็น User Interface
4. เขียน Function ในส่วนของ GUI ให้สามารถรับค่า Input ตัวแปรที่ต้องใช้ในการคำนวณ เรียกใช้โปรแกรมส่วนคำนวณ และแสดงผล Output ที่ได้จากการคำนวณ
5. ตรวจสอบการทำงานและความถูกต้องของการใช้โปรแกรม

## บทที่ 2

### หลักการพื้นฐานของระบบ CDMA

#### 2.1 กลไกพื้นฐานที่มีผลกระทบต่อลักษณะการแพร่กระจายของคลื่น

กลไกพื้นฐานที่มีผลกระทบต่อลักษณะการแพร่กระจายของคลื่น คือการสะท้อน (Reflection) การเลี้ยวเบน (Diffraction) และการกระเจิง (Scattering)

2.1.1 การสะท้อน (Reflection) ของคลื่นสัญญาณเกิดขึ้นเมื่อคลื่นมีการเคลื่อนที่จากสื่อกลางหนึ่งไปสู่สื่อกลางอีกสื่อกลางหนึ่ง โดยสื่อกลางชนิดที่สองจะต้องมีพื้นผิวที่ใหญ่กว่า (ความยาวคลื่นมากกว่า) เมื่อเทียบกับความยาวของคลื่นที่มาตกกระทบ สิ่งที่เกิดขึ้นก็คือ คลื่นบางส่วนจะมีการสะท้อนออก และส่วนที่เหลือก็เคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่สื่อกลางชนิดที่สอง ตัวอย่างวัตถุ เช่น กระจก กำแพง และพื้นผิวของขอบโลก เป็นต้น

2.1.2 การเลี้ยวเบน (Diffraction) ของคลื่นเกิดขึ้นในกรณีที่มีวัตถุบางอย่างที่มีขอบกีดขวาง (Sharp Edge) อยู่ระหว่างอุปกรณ์รับและอุปกรณ์ส่งสัญญาณ ทำให้ไม่มีเส้นทางตรง (Line of Sight) ระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองที่คลื่นสามารถผ่านไปได้ สิ่งที่เกิดขึ้นก็คือ คลื่นสัญญาณจะเลี้ยวอ้อมวัตถุนั้น ๆ การเลี้ยวเบนของสัญญาณนี้เองที่ทำให้สามารถรับสัญญาณได้บางส่วนถึงแม้ว่าเครื่องรับสัญญาณจะถูกบังด้วยสิ่งกีดขวาง ด้วยเหตุนี้การเลี้ยวเบนของคลื่นจึงมีประโยชน์ต่อการส่งผ่านสัญญาณในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

2.1.3 การกระเจิง (Scattering) เกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปตกกระทบกับวัตถุหรือพื้นผิวที่มีขนาดเล็ก (ความยาวคลื่นน้อยกว่า) เมื่อเทียบกับความยาวคลื่นของสัญญาณ ทำให้คลื่นสัญญาณเกิดการกระเจิงไปในทุกทิศทาง ตัวอย่างวัตถุเช่น ป้ายจราจร เสา โคมไฟตามถนน ใบไม้ และพื้นผิวที่ขรุขระ เป็นต้น

#### 2.2 ลักษณะการแพร่กระจายของคลื่น

ในการสื่อสารไร้สายนั้นเมื่อสัญญาณถูกส่งผ่านช่องสัญญาณ สัญญาณนั้นจะได้รับผลกระทบจากการเดินทางผ่านช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากทั้ง ต้นไม้ กระจก อาคาร และสิ่งแวดล้อมจากภูมิประเทศต่าง ๆ จะส่งผลให้เกิดการจางหาย (Fading) ของสัญญาณ ซึ่งจะพิจารณาได้ 3 ประเภท คือ การสูญเสียตามระยะทาง (Path Loss) การบดบัง (Shadowing) และการหลายวิถี (Multipath)

2.2.1 การสูญเสียตามระยะทาง (Path Loss) เป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณ โดยที่ค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณจะลดลงตามค่า  $d^{-n}$  หรือ กฎของกำลังการสูญเสียตามระยะทางโดยที่  $d$  คือ ระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ ส่วน  $n$  เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งที่มีขนาดแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมของบริเวณที่

สัญญาณส่งผ่าน หรือ  $n$  คือตัวชี้กำลังของกฎการสูญเสียตามระยะทาง เมื่อสภาพแวดล้อมเป็นอวกาศว่าง (Free Space)  $n$  จะมีค่าเท่ากับ 2 และในสภาพแวดล้อมของระบบเซลลูลาร์ในเมืองที่มีตึก และเกิดการกีดขวางค่าของ  $n$  จะมีค่าอยู่ในช่วง 3-6 โดยจะเห็นได้จากสมการว่าเมื่อระยะ  $d$  มากขึ้นจะส่งผลให้กำลังเฉลี่ยของสัญญาณลดลงไปตามกฎการสูญเสียตามระยะทางจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ใกล้-ไกล (Near-Far effect) ขึ้นในระบบ CDMA ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ค่าเฉลี่ยที่ถูกรับได้ที่สถานีฐานที่ถูกส่งจากเครื่องลูกข่ายอยู่ใกล้สถานีฐานจะมีค่าสูงกว่ากำลังเฉลี่ยที่ถูกรับได้จากเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในระยะทางที่ไกลกว่า ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการรบกวนกันของสัญญาณที่ใช้ช่องสัญญาณร่วมกันในระบบซีดีเอ็มเอ

2.2.2 การถูกบดบัง (Shadowing หรือ Large-Scale Fading) เกิดจากการที่สัญญาณบางส่วนถูกบดบังไปชั่วขณะจากสภาพแวดล้อมรอบข้าง เช่น อาคาร และเนินเขาเป็นต้น ส่งผลให้กำลังเฉลี่ยของสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงค่าอย่างช้า ๆ เมื่อผู้ใช้บริการเคลื่อนที่ออกจากบริเวณนั้นสัญญาณที่รับได้ก็จะมีกำลังแรงคั้งเดิม ดังนั้นระดับของสัญญาณที่รับได้มักจะเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะเท่า ๆ กับขนาดของสิ่งกีดขวาง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะอยู่ประมาณหลายสิบลเมตร

จากการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการสูญเสียตามระยะทาง ในทางทฤษฎีนั้นพบว่า ณ ตำแหน่งที่ห่างจากเครื่องส่งสัญญาณเท่า ๆ กันก็จะได้รับสัญญาณที่มีกำลังเท่ากันด้วย แต่ในทางปฏิบัติสัญญาณที่รับได้ในแต่ละบริเวณอาจจะมีกำลังที่ไม่เท่ากันก็ได้ ถึงแม้ว่าจะอยู่ห่างจากสถานีส่งด้วยระยะทางที่เท่ากัน ทั้งนี้เพราะกำลังของสัญญาณที่รับได้นั้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในบริเวณที่สัญญาณส่งผ่านด้วย ดังนั้นในสภาพความเป็นจริงสัญญาณเหล่านี้จะมีการกระเพื่อมขึ้นและลงบนค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้จากการสูญเสียตามระยะทาง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในลักษณะนี้ สามารถจำลองได้ด้วยการใช้ตัวแปรแรนดอมที่มีการกระจายแบบล็อกนอร์มอล (Lognormal Distribution) ซึ่งอธิบายถึงปรากฏการณ์บดบัง (Shadowing) แบบสุ่มที่เกิดขึ้นเหนือตำแหน่งต่าง ๆ ที่ทำการวัดโดยมีช่วงของเครื่องรับ-เครื่องส่งเดียวกัน แต่หลายเส้นทางของการแพร่ผ่าน เมื่อกำหนดให้  $X$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์ที่มีค่าเฉลี่ย  $m$  และความแปรปรวน  $\sigma^2$  จะนิยามตัวแปรสุ่ม  $R$  ที่มีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล โดยที่มีความสัมพันธ์  $R = e^X$  หรือ  $X = \ln R$  เพราะฉะนั้นจะได้ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของ  $R$  ซึ่งมีความน่าจะเป็นที่มีการแจกแจงเป็นล็อกนอร์มอล

$$p(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma r} \exp\left(-\frac{(\ln r - m)^2}{2\sigma^2}\right), \quad r \geq 0 \quad (2.1)$$

จากความสัมพันธ์ของตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอร์มอล  $R = e^X$  เมื่อ  $X$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์ที่มีค่าเฉลี่ย  $m$  และความแปรปรวน  $\sigma^2$  โดย  $X = G(m, \sigma^2)$  เมื่อพิจารณาการสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนผ่านที่วัดได้จากเครื่องรับในหน่วย dB ซึ่งเป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์ [H/B]  
 $L(\text{dB}) = L_0(\text{dB}) + \sigma_c(\text{dB})G(0,1) = G(L_0, \sigma_c^2)(\text{dB})$  เมื่อ  $L_0(\text{dB})$  เป็นค่ามัธยฐาน (Median

Value) ของการสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนที่ผ่าน  $\sigma_c(dB)$  เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากความสัมพันธ์ข้างต้นสามารถเขียนได้เป็น  $L(dB) = L_0(dB) + \sigma_c(dB)X$  เมื่อ  $X$  เป็นตัวแปรสุ่มเกาส์ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และมีความแปรปรวนเป็นหนึ่ง เพราะฉะนั้นสามารถเขียนการสูญเสียที่เป็นตัวแปรสุ่ม  $L_a$  เป็น

$$\begin{aligned} L_a &= 10^{L(dB)/10} = 10^{[L_0(dB) + \sigma_c(dB)X]/10} = L_{0a} 10^{\sigma_c X/10} \\ &= L_{0a} V \end{aligned} \quad (2.2)$$

เมื่อนิยามให้  $V$  เป็น  $10^{\sigma_c X/10}$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอร์มอลและให้  $L_{0a}$  มีค่าเป็น  $10^{L_0(dB)/10}$  โดยการเปลี่ยนแปลงค่าของ  $L_a$  นั้นเกิดขึ้นเนื่องมาจากหลายปัจจัยรวมถึงการบดบังด้วย จาก pdf ของตัวแปรสุ่ม  $X$  ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และมีค่าความแปรปรวนเป็นหนึ่ง เพราะฉะนั้นได้ตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอร์มอล  $V$  เป็น

$$V = 10^{\sigma_c X/10} = e^{\beta \sigma_c X} \quad (2.3)$$

โดย  $\beta = (\ln 10)/10 = 0.2303$

เมื่อต้องการหาค่าโมเมนต์ของตัวแปรสุ่มแบบล็อกนอร์มอล ที่แสดงถึงการสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนที่ผ่าน  $L_{0a}$  ได้เป็น

$$L_0 = L_{0a} V = L_{0a} e^{\beta \sigma_c X} = e^{\beta(L_0 + \sigma_c X)} \quad (2.4)$$

จะได้โคเนตอันดับ  $k$  ของ  $L_a$  เป็น  $E\{L_a^k\} = \exp\left(k\beta L_0 + \frac{1}{2}k^2\beta^2\sigma_c^2\right)$  เพราะฉะนั้น

$$E\{L_a\} = L_{0a} e^{\beta^2\sigma_c^2/2} \quad (2.5)$$

$$E\{L_a^2\} = L_{0a} e^{2\beta^2\sigma_c^2} \quad (2.6)$$

$$\text{Var}\{L_a\} = E\{L_a^2\} - [E\{L_a\}]^2 = L_{0a}^2 e^{\beta^2\sigma_c^2} (e^{\beta^2\sigma_c^2} - 1) \quad (2.7)$$

เป็นโคเนตอันดับหนึ่ง โนเนตอันดับสอง และความแปรปรวนของ  $L_a$  ตามลำดับ

2.2.3 การหลายวิถี (Multipath Fading หรือ Small-Scale Fading) เกิดจากการที่สายอากาศของเครื่องรับสัญญาณอยู่ใกล้พื้นผิวมาก เช่น การใช้งานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ใช้บริการมักจะอยู่สูงจากพื้นผิวประมาณไม่เกิน 3 เมตร ดังนั้นในการแพร่ของสัญญาณผ่านช่องสัญญาณที่เป็นสถานะแวดล้อมที่มีวัตถุต่าง ๆ ที่เป็นสิ่งกีดขวางรอบข้างจึงส่งผลให้เกิดการสะท้อน การหักเห และการกระเจิง ของสัญญาณในหลายทิศทาง ส่งผลให้สัญญาณที่รับได้ประกอบด้วยจำนวนสัญญาณหลาย ๆ สัญญาณเดินทางมาจากทิศทางที่ต่างกันและโดยทั่วไปแล้วสัญญาณเหล่านี้มักจะ

เดินทางมาถึงเครื่องรับด้วยเวลาที่แตกต่างกัน และมีทั้งขนาดและเฟสที่ต่างกันแปรเปลี่ยนตามระยะทาง ซึ่งในบางระยะทางสัญญาณที่มาจากหลายทิศทางอาจจะมีเฟสที่ทำให้สัญญาณที่รับได้มีการหักล้างกัน แต่ในบางช่วงการรวมกันของสัญญาณที่รับได้ก็จะเป็นแบบเสริมกัน จึงส่งผลให้สัญญาณที่รับได้มีการลดทอนของสัญญาณและเมื่อสัญญาณเหล่านี้มารวมเข้าด้วยกันจะได้สัญญาณที่มีแอมพลิจูดแปรเปลี่ยนได้มาก รวมถึงทำให้ระดับของสัญญาณที่รับได้มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างบ่อยครั้ง (ระดับของสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอย่างรวดเร็ว) เพียงเครื่องโทรศัพท์ที่มีการเคลื่อนที่ด้วยระยะทางสั้น ๆ ไม่ก็ความยาวคลื่น

ในการลดทอนของช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นจะสามารถพิจารณาเป็น 2 ลักษณะ คือ Large-Scale Fading และ Small-Scale Fading เมื่อมีการลดทอนกำลังของสัญญาณเฉลี่ย หรือ Path Loss เนื่องจากการเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ใหญ่ ๆ จะเป็นในลักษณะที่รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมตามภูมิประเทศระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ แล้วจะส่งผลให้เกิด Large-Scale Fading จะให้ผลการลดทอนของกำลังเฉลี่ยที่เป็นฟังก์ชันของระยะทาง ( $d^{-n}$ ) ดังนั้นในลักษณะนี้จะเป็นการอธิบายโดยการสูญเสียเฉลี่ยตามระยะทาง (Mean- Path Loss) และการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยที่มีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล ส่วนการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการหลายวิถีที่มีการจางหายแบบเร็วขึ้นจะส่งผลให้เกิดการเฟดดิ้งแบบ Small-Scale Fading

### 2.3 หลักการพื้นฐานของ CDMA (Code Division Multiple Access)

หลักการเบื้องต้นของระบบ CDMA ได้จัดแบ่งความถี่ที่มีอยู่ทั้งหมดออกเป็นช่วง โดยแต่ละช่วงมีความกว้างเท่ากับ 1.25 MHz โดยวิธี CDMA สังเกตว่าคลื่นพาห์หนึ่งความถี่มีขนาดแบนด์วิดท์ที่กว้างกว่าของระบบอื่น ๆ เช่น GSM (200 kHz) มาก ด้วยขนาดแบนด์วิดท์ที่กว้างขนาดนี้ CDMA จึงอนุญาตให้ผู้ใช้โทรศัพท์จำนวนมากจำนวนหนึ่งส่งสัญญาณเสียงลงบนคลื่นความถี่เดียวกันได้ ซึ่งหมายความว่าผู้ใช้ทุกๆ คนที่ใช้คลื่นพาห์เดียวกันจะรบกวนกันในเชิงความถี่ตลอดเวลาการใช้งาน หากแต่ว่าโทรศัพท์แต่ละเครื่องจะสามารถแยกแยะว่าสัญญาณส่วนใดที่เป็นของตนเองได้โดยอาศัยชุดรหัสที่แตกต่างกันในการรับและส่งข้อมูล ด้วยเหตุนี้จึงเรียกระบบนี้ว่า Code Division Multiple Access (CDMA) ชุดรหัสที่ใช้การทำสเปกตรัมเหล่านี้มีชื่อว่า PN (Pseudorandom Noise) ซึ่งชุดรหัสแต่ละชุดที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติที่เรียกว่า Orthogonal กับชุดรหัสอื่น ๆ ทั้งหมด

ขั้นตอนการสร้างสัญญาณสำหรับการส่งออกเริ่มด้วยการนำสัญญาณเสียงที่มีอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัลซึ่งมีอัตราบิตข้อมูลค่อนข้างต่ำ (เช่น 9600 bps) มาคูณกับสัญญาณ PN ซึ่งมีอัตราบิตข้อมูลที่สูงมาก (1.228 Mcps) ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือ ข้อมูลที่อัตราการส่งสูงกว่าสัญญาณเสียงที่ต้องการจะส่งมาก ด้วยเหตุนี้จึงเรียกว่ามีการสเปกตรัม (Spread Spectrum) เกิดขึ้นและแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูลนี้ก็มีขนาดใหญ่ขึ้นด้วยคือ 1.25 MHz (สัญญาณที่ผ่าน

กระบวนการสเปรดสเปคตรัมแล้วมักจะใช้ Mcps แทน Mbps) ส่วนที่เครื่องรับสัญญาณที่ปลายทางก็จะทำการดีสเปรด (Despread) สัญญาณที่รับได้เพียงถึงสัญญาณเสียงกลับคืนมา

ในระบบซีดีเอ็มเอนั้น ในเซลล์ที่อยู่ติดกันสามารถที่จะใช้ความถี่เดียวกันได้ หากพิจารณาจำนวนของผู้ใช้บริการของระบบที่จะรองรับได้นั้น จะมีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อความจุของระบบ เช่น ปริมาณการแทรกสอดระหว่างผู้ใช้งานด้วยกันเอง ความถูกต้องของการควบคุมกำลังของเครื่องดูข่ายอันเนื่องมาจากปัญหาความใกล้-ไกล

### 2.3.1 สัญญาณแทรกสอดในการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป (Forward Link Interference)

2.3.1.1 สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ (Same-Cell Interference) ในทางอุดมคติแล้วจะไม่มีสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ในการสื่อสารเชื่อมโยงขาไป เนื่องจากแต่ละช่องสัญญาณในการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปนั้นออโรคอนอลซึ่งกันและกันทุก ๆ ช่องสัญญาณรวมทั้งช่องสัญญาณนำร่องในการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปนั้นจะสามารถแยกแยะสัญญาณออกจากกันได้ โดยการคูณสัญญาณที่รับเข้ามาด้วยขบวนการชิพที่พอเหมาะ แล้วทำการรวมหรืออินทิเกรตชิพในช่วง 64 ชิปของวอลซ์ฟังก์ชัน (Walsh function) ซึ่งผลที่ได้จากขบวนการนี้ คือสัญญาณขบวนการข้อมูลเบสแบนด์ของช่องสัญญาณที่ต้องการโดยปราศจากสัญญาณแทรกสอดใด ๆ จากการสื่อสารในทิศทางสื่อสารเชื่อมโยงขาไป แต่อย่างไรก็ตามการแพร่กระจายคลื่นในโทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำให้เกิดการแทรกสอดในทิศทางสื่อสารเชื่อมโยงขาไปเนื่องจากการเกิดการหลายวิถี (Multipath) นั้นเอง

สมมติว่า  $I_{o,f}$  คือความหนาแน่นกำลังสัญญาณทั้งหมดที่รับได้ที่เครื่องรับจากสถานีฐานที่ใช้บริการอยู่ ซึ่งสัญญาณนี้ประกอบด้วยสัญญาณที่ต้องการและสัญญาณแทรกสอดอันเนื่องมาจากหลายวิถี (Multipath) ซึ่งกำลังของสัญญาณในเส้นทาง  $k$  กำหนดให้เป็น  $\beta_k$  เมื่อ  $0 \leq \beta_k \leq 1$  ซึ่งส่วนของสัญญาณ อันเนื่องมาจากเส้นทางที่  $k$  คือ

$$I_{o,f} = \text{ความหนาแน่นสเปกตรัมของเส้นทางที่ } k = \beta_k I_{o,f} \quad (2.8)$$

และถ้าในการแพร่กระจายประกอบด้วยสัญญาณจำนวน  $k$  เส้นทาง จะได้ว่า

$$I_{o,f} = \sum_{k=1}^k I_{0,k} = I_{o,f} \sum_{k=1}^k \beta_k \quad (2.9)$$

$$\text{หรือ} \quad \sum_{k=1}^k \beta_k = 1$$

หากสมมติว่าที่เครื่องรับมีวงจรรับสัญญาณจำนวน  $k$  วงจร โดยแต่ละวงจรตั้งค่าไว้สำหรับรับสัญญาณแต่ละเส้นทางใน  $k$  เส้นทาง ให้  $E_{b_j}$  เป็นพลังงานบิตข้อมูลทั้งหมดที่รับได้ที่สถานีฐานแล้วพลังงานบิตข้อมูลอินพุตของวงจรรับสัญญาณอันดับที่  $j$  จะมีค่าเป็น



$$E_{bj} = \text{พลังงานบิตข้อมูลจากเส้นทางที่ } k = \beta_k E_{b0} \quad (2.10)$$

กำหนดให้  $I_{scj}$  เป็นความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณแทรกสอดจากภายในเซลล์ต่อเส้นทางอันดับ  $j$  ซึ่งหาได้จาก

$$I_{scj} = \sum_{k \neq j} I_{0,k} = I_{o,f} \sum_{k \neq j} \beta_k = I_{o,f} (1 - \beta_j) \quad (2.11)$$

ซึ่งจะได้อัตราส่วนความสัมพันธ์ของพลังงานบิตข้อมูลข่าวสารต่อสัญญาณรบกวน (ที่รวมทั้งสัญญาณแทรกสอดด้วย) ของวงจรดีโมดูเลเตอร์ที่ตั้งค่าไว้สำหรับสัญญาณจากเส้นทาง  $j$  เป็น

$$\frac{E_{bj}}{(N_{0,T})_j} = \frac{E_{b0} \beta_j}{N_0 + I_{0,\infty} + I_{o,f} (1 - \beta_j)} \quad (2.12)$$

เมื่อ  $N_0$  คือ กำลังสเปกตรัมของเทอร์มอลนอยซ์

$I_{0,\infty}$  คือ กำลังสเปกตรัมของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

$I_{o,f}$  คือ กำลังสเปกตรัมรวมของสัญญาณที่รับได้จากเซลล์ภายใน

$(N_{0,T})_j$  คือความหนาแน่นรวมสัญญาณรบกวนซึ่งรวมทั้งสัญญาณแทรกสอดในการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปหากเครื่องลูกข่ายใช้การรวมสัญญาณแบบ Maximum Ratio Combining จากเส้นทางทั้ง  $k$  เส้นทาง จะได้ว่า

$$\frac{E_b}{N_{0,T}} = \sum_{k=1}^k \frac{E_b}{(N_{0,T})_j} = \sum_{k=1}^k \frac{E_{b0} \beta_j}{N_0 + I_{0,\infty} + I_{o,f} (1 - \beta_j)} \quad (2.13)$$

สำหรับเครื่องลูกข่ายที่อยู่ใกล้กับสถานีฐานแล้ว สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์จะมีค่ามากกว่าสัญญาณรบกวนชนิดอื่น ๆ ซึ่งจะสามารถตัดสัญญาณรบกวนอื่น ๆ ทิ้งไปได้ สมการ (2.13) จึงสามารถประมาณได้เป็น

$$\frac{E_b}{N_{0,T}} \approx \sum_{k=1}^k \frac{E_{b0} \beta_j}{I_{o,f} (1 - \beta_j)} = \frac{E_{b0}}{I_{o,f}} \sum_{k=1}^k \frac{\beta_j}{1 - \beta_j} = \frac{E_{b0}}{I_{0,sc}} \quad (2.14)$$

เมื่อ  $I_{0,\infty}$  คือส่วนที่เป็นสัญญาณแทรกสอดของความหนาแน่นสัญญาณรวมที่รับได้ภายในเซลล์ ( $I_{o,f}$ ) ดังนั้นความหนาแน่นกำลังสเปกตรัมที่มีผลกระทบต่อเครื่องรับของสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์จะนิยามเป็น

$$I_{0,sc} = \frac{I_{o,f}}{\sum_{j=1}^j \frac{\beta_j}{1 - \beta_j}} \quad (2.15)$$

2.3.1.2 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น (Other-Cell Interference) ในระบบ CDMA นั้น สัญญาณที่รับได้จากเซลล์อื่น ๆ จะมีลักษณะเป็นสัญญาณแทรกสอดต่อสัญญาณที่รับได้ที่เครื่องถูก ข่าย ซึ่งกำลังของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาซึ่งสามารถ กำหนดได้ว่าเป็นสัญญาณสุ่มแบบลือกนอร์มอล นั่นคือกำลังของสัญญาณแทรกสอดจะเป็นตัวแปร สุ่มชนิดเกาส์ (Gaussian)

กำลังของสัญญาณแทรกสอด (dBm) = ค่าเฉลี่ย(dBm) + ค่าศูนย์-เฉลี่ยตัวแปรสุ่มชนิดเกาส์

ค่าเฉลี่ยกำลังสัญญาณแทรกสอดจะสามารถคาดเดาได้โดยใช้โมเดลของการลดทอนใน การแพร่กระจายคลื่น ตัวอย่างเช่น การลดทอนสัญญาณในการแพร่กระจายจะเป็นสัดส่วนกับกำลัง อันดับที่  $n$  ของระยะทางเป็นต้น ซึ่งในการคำนวณทางคณิตศาสตร์แล้ว สัญญาณจากเซลล์อื่นในทิศ ทางการสื่อสารเชื่อมโยงขาไปจะสามารถหาค่าได้ในรูปของตัวแปรสุ่มแบบลือกนอร์มอล (Lognormal) ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{กำลังของสัญญาณแทรกสอด (dB)} &= 10 \log_{10} I_i \\ &= 10 \log_{10} \bar{I}_i + \sigma_{dB} W_i \end{aligned}$$

เมื่อ  $W_i$  เป็นตัวแปรสุ่มเกาส์เซียน

หรือ

$$I_i = \bar{I}_i 10^{\sigma_{dB} W_i / 10} = \text{Const} \frac{1}{r_i^n} 10^{\sigma_{dB} W_i / 10} \quad (2.16)$$

เมื่อ  $\bar{I}_i$  = ค่ากลางของกำลังสัญญาณแทรกสอดจากสถานีฐาน  $i$

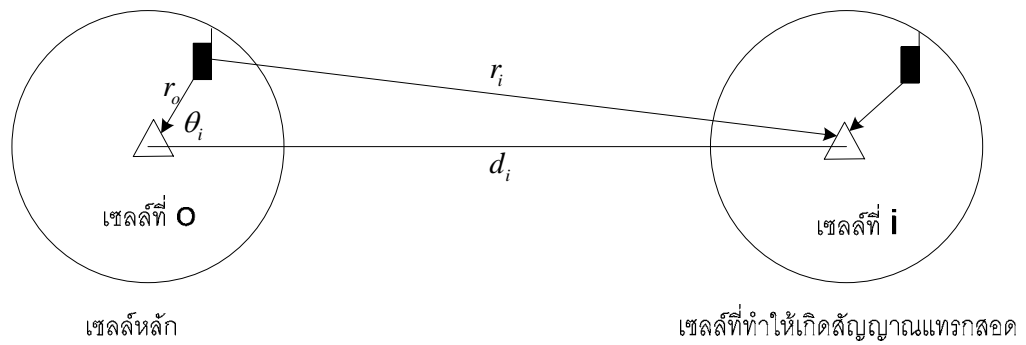
$r_i$  = ระยะทางจากเครื่องลูกข่ายถึงสถานีฐาน  $i$

$n$  = กฎของการลดทอนจากการแพร่กระจายคลื่น

$W_i$  = ค่าศูนย์-เฉลี่ย หน่วยความแปรปรวนของตัวแปรสุ่มเกาส์

$\sigma_{dB}$  = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแปรปรวนข้อมูลในช่วง 6 ถึง 13 เดซิเบล

พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบมากที่สุดสำหรับวิเคราะห์สัญญาณรบกวนจากเซลล์ข้างเคียง คือ ค่ากลาง ของกำลังสัญญาณแทรกสอด  $\bar{I}_i$  ในสมการที่ (2.10) และตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย หรือ พารามิเตอร์  $r_i$  เพราะตำแหน่งของเครื่องลูกข่ายจะเป็นตัวกำหนดปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่ เกิดขึ้น

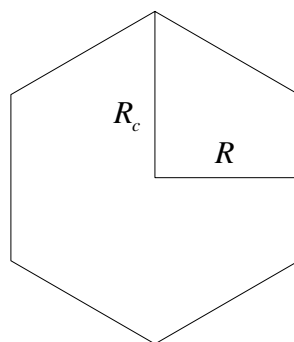


รูปที่ 2.1 แสดงระยะทางของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

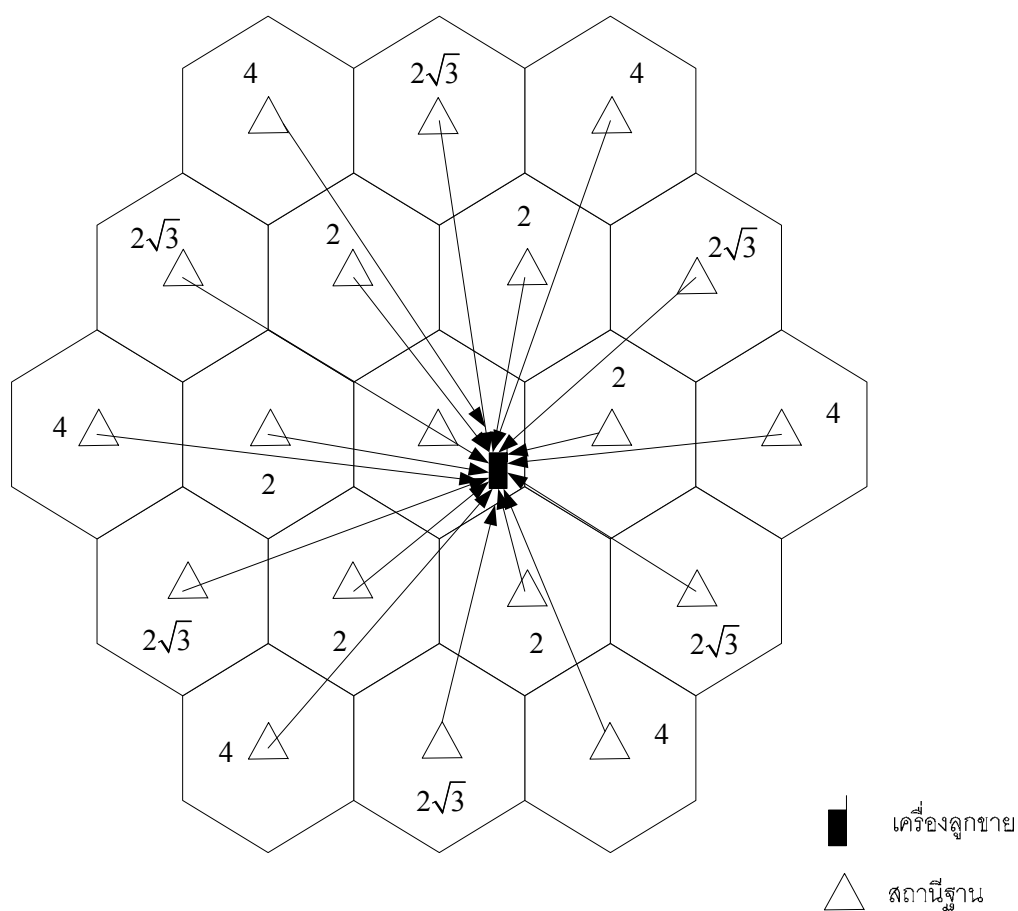
หากสมมติว่ามีเซลล์สมมาตรดังแสดงในรูปที่ (2.1) เพื่อใช้ในการหาปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นกับเครื่องลูกข่ายที่ตำแหน่ง  $(r, \theta_i)$  ในเซลล์หลัก (Home Cell) ซึ่งจากรูป (2.1) จะสามารถหาระยะทางของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์  $i$  ได้เป็น

$$r_i(r, d_i, \theta_i) = \sqrt{r^2 + d_i^2 - 2rd_i \cos \theta_i} \quad (2.17)$$

เมื่อ  $d$  คือระยะห่างระหว่างเซลล์หลักกับเซลล์ที่ทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอด ซึ่งรูปที่ (2.1) จะเป็นรูปแสดงการวางเซลล์อย่างง่าย และรูปที่ (2.2) จะแสดงการหาระยะทางทั้งในทอมของรัศมีเซลล์จากมุม-ถึง-มุม ( $R_c$ ) หรือรัศมีจากจุดศูนย์กลางถึงด้าน  $R$  โดยที่  $R = \sqrt{3} \frac{R_c}{2}$  เพื่อความสะดวกในการหาระยะทางระหว่างเซลล์ แต่ทว่าในระบบเซลล์ลูนาร์นั้นจะมีการวางเซลล์แบบรวงผึ้งที่มีความซับซ้อนมากขึ้นโดยจะมีเซลล์ที่ก่อให้เกิดสัญญาณแทรกสอดในลักษณะวงแหวนรอบเซลล์ ซึ่งระยะห่างเซลล์หลักกับวงแหวนเหล่านี้จะแสดงในตารางที่ (2.1) และเมื่อนำค่าระยะห่างเซลล์ที่ได้จากตารางที่ (2.1) มาวาดเป็นระบบเซลล์ลูนาร์แล้ว จะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ (2.3) ที่แสดงให้เห็นถึงการเกิดสัญญาณแทรกสอดที่เครื่องลูกข่ายที่ตำแหน่ง  $(r, \theta_i)$



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะและรัศมีเซลล์ในระบบเซลล์ลูนาร์



รูปที่ 2.3 สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง (Forward Link) ในระบบเซลล์ลาร์ CDMA

ตารางที่ 2.1 ระยะห่างของเซลล์ข้างเคียงในระบบเซลล์ลาร์

วงที่	ตำแหน่งที่	ระยะห่าง	จำนวน
1	1	$2R = R_c \sqrt{3}$	6
2	1	$2R\sqrt{3} = 3R_c$	6
	2	$4R = 2R_c \sqrt{3}$	6
3	1	$2R\sqrt{7} = R_c \sqrt{21}$	6
	2	$2R\sqrt{7} = R_c \sqrt{21}$	6
	3	$6R = 3R_c \sqrt{3}$	6
•	•	•	•
	•	•	•
	•	•	•
m	I	$2R\sqrt{m^2 + i^2 - mi}$	6

หากสมมติว่าการแพร่กระจายคลื่นเป็นสัดส่วนกับกำลัง  $n$  นั่นคือ

$$\begin{aligned} \text{การลดทอนจากการแพร่กระจาย, } L(r_i) &= \text{กำลังสัญญาณแทรกสอดที่รับได้} / \text{กำลังส่ง} \\ &= \frac{I_i}{P_i} = \text{const } r_i^{-n} \end{aligned}$$

เมื่อ  $P_i$  คือกำลังส่งของสถานีฐาน  $i$  และ  $r_i$  คือระยะห่างจากสถานีฐาน  $i$  ซึ่งหาได้จากสมการที่ (2.14) แล้วจะได้ค่ากลางของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงทั้งหมดในรูปของผลรวมของค่ากลางจากเซลล์ข้างเคียงทั้งหมด นั่นคือ

$$I_{oc} = \sum_i I_i = \sum_i P_i L(r_i) = P_t \sum_i L(r_i) = \text{const} P_i \sum_i [r_i(r, d_i, \theta_i)]^{-n} \quad (2.18)$$

### 2.3.2 สัญญาณแทรกสอดในการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ (Reverse Link Interference)

2.3.2.1 การแทรกสอดภายในเซลล์ (Same-Cell Interference) ในการแทรกสอดที่เกิดขึ้นนี้จะประกอบด้วยผลรวมของสัญญาณจากผู้ให้บริการรายอื่น ๆ ที่ภาครับในสถานีฐานเดียวกัน สำหรับระบบซีดีเอ็มเอสัญญาณที่ใช้โดยเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องที่ทำการสื่อสารจะใช้น้ำหนักเดียวกัน ในเวลาเดียวกัน ซึ่งสัญญาณรบกวนแทรกสอดที่เกิดขึ้นจะสามารถจัดอยู่ในรูปของสัญญาณรบกวนชนิดไวท์นอยส์ที่มีแบนด์วิดท์จำกัดได้ (Band-Limited White Noise) โดยเกือบทั้งหมดของสัญญาณรบกวนที่ภาครับของสถานีฐานจะเกิดขึ้นเนื่องมาจากการแทรกสอดของสัญญาณจากเครื่องลูกข่าย จำนวนของผู้ให้บริการที่เข้ามาใช้งานขณะใดขณะหนึ่งจะถูกทำให้มีจำนวนสูงสุดได้ โดยการทำให้กำลังที่รับได้ของแต่ละผู้ให้บริการที่สถานีฐานนั้นมีค่าเท่ากัน และมีค่าต่ำเท่าที่จะเป็นไปได้ในขณะที่สอดคล้องกับสมรรถนะของการเชื่อมโยง การควบคุมแบบไดนามิกของกำลังที่ส่งของเครื่องลูกข่ายจึงเป็นส่วนที่จำเป็นต่อการออกแบบส่วนการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ เพราะเมื่อมีการใช้การควบคุมกำลังสำหรับ  $N$  ของผู้ใช้งานในเซลล์ แล้วปริมาณของกำลังของการแทรกสอดที่ภาครับของสถานีฐานเนื่องจากเซลล์เดียวกันจะถูกสมมติโดย

$$I_{sc} = (N-1)S\alpha_r \quad (2.19)$$

เมื่อ  $S$  เป็นกำลังของแต่ละเครื่องลูกข่ายที่ภาครับ และ  $\alpha_r$  เป็นค่าเฉลี่ยของแฟกเตอร์ของ Voice Activity ของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ

### 2.3.2.2 การแทรกสอดจากเซลล์อื่น (Other-Cell Interference)

ในรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นถึงลักษณะทางกายภาพของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงในการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับโดยสมมติว่าแต่ละเซลล์มีขนาดเท่ากัน และมีการใช้เทคนิคในการควบคุมกำลังส่ง ซึ่งกำลังสัญญาณแทรกสอดจากเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในเซลล์ข้างเคียง (เซลล์ B) จะมีค่าเป็น

ระดับกำลังของสัญญาณที่ต้องการที่สถานีฐาน  $\times$  การลดทอนสัญญาณจากการแพร่กระจาย  $= S \times r^4$

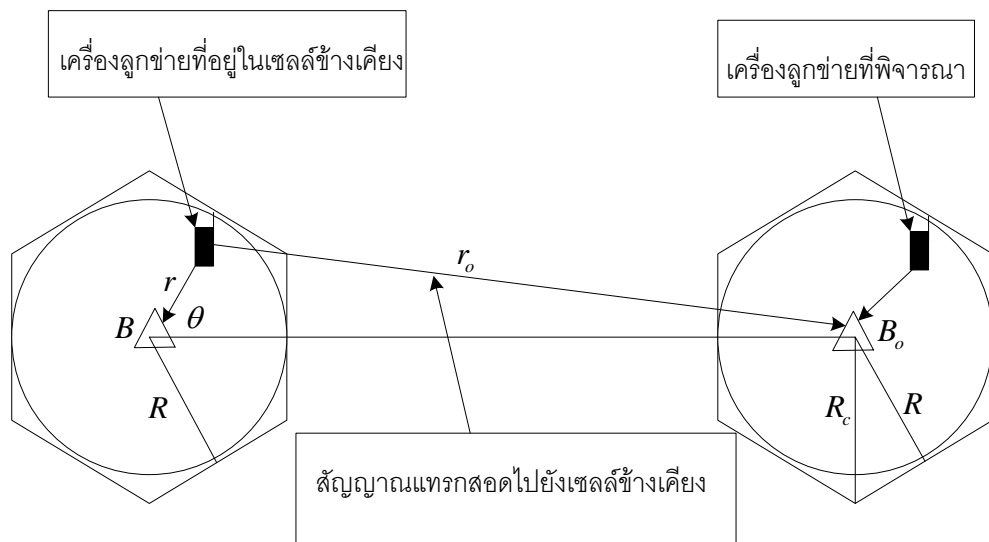
เมื่อ  $r$  คือ ระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน B (เซลล์ข้างเคียง)

ดังนั้นกำลังของสัญญาณแทรกสอดจากเครื่องลูกข่ายนี้ที่ไปรบกวนสถานีฐาน  $B_o$  ที่พิจารณาจะมีค่าเป็น

$$P_o = \alpha_r S \left( \frac{r}{r_o} \right)^4 \quad (2.20)$$

โดยระยะทาง  $r_o$  เป็นระยะทางระหว่างเครื่องลูกข่ายในเซลล์ข้างเคียงไปยังสถานีฐานที่พิจารณา

ปริมาณของสัญญาณแทรกสอดจะขึ้นอยู่กับจำนวนเครื่องลูกข่ายที่ใช้งานภายในเซลล์ B โดยจะมีค่าเป็นผลรวมของกำลังสัญญาณแทรกสอดของเครื่องลูกข่ายจำนวน  $N$  เครื่อง



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะทางกายภาพของสัญญาณรบกวนแทรกสอดในการสื่อสารเชิงโชนกลับ

### 2.3.3 ความจุในระบบเซลล์คู่ซ้ำซีดี CDMA

เมื่อพิจารณาระบบที่มีเซลล์เดียวโดยไม่พิจารณาผลกระทบจากสัญญาณรบกวนต่าง ๆ จะพบว่า ความจุ  $N_c$  ของระบบในเทอมของปริมาณผู้ใช้ที่แยกที่ฟ จะมีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบดังนี้

$$\left( \frac{C}{I} \right)_{req} = SNR_{req} = \frac{\alpha_r S}{(N_c - 1) \alpha_r S} = \frac{1}{N_c - 1} \quad (2.21)$$

หากพิจารณาระบบที่มีหลายเซลล์แล้ว ความจุ  $N$  ของแต่ละเซลล์จะมีค่าน้อยกว่าความจุ  $N_c$  ที่สามารถให้บริการได้ เนื่องจากสัญญาณรบกวนการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง ดังนั้นเมื่อไม่พิจารณาค่า

การลดทอดจากสัญญาณรบกวนชนิดต่าง ๆ จะสามารถหาอัตราส่วนกำลังสัญญาณคลื่นพาห้ต่อกำลังสัญญาณแทรกสอดในระบบหลายเซลล์ ในเทอมของความจุ  $N$  ได้เป็น

$$SNR_{req} = \frac{\alpha_r S}{(N-1)\alpha_r S + \beta N \alpha_r S} = \frac{1}{(N-1) + \beta N} \quad (2.22)$$

เมื่อ  $\beta$  คือ แฟกเตอร์ของการแทรกสอดของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

ความจริงของระบบนั้นขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ปัจจัย เช่น การมีมอดูเลตของภาครับ ความถูกต้องของการควบคุมกำลัง กำลังของสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจริง อันเนื่องมาจากผู้ใช้บริการอื่นทั้งจากภายในเซลล์เดียวกัน และจากเซลล์อื่นข้างเคียง

ในการสื่อสารดิจิทัล เรามีความสนใจค่าของ  $\frac{E_b}{N_o}$  หรือพลังงานต่อบิตต่อความหนาแน่นกำลังของสัญญาณรบกวน โดย  $\frac{E_b}{N_o}$  สามารถที่จะเรียกเป็นอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน SNR (Signal to Noise Ratio) โดยที่พลังงานต่อบิตจะเท่ากับกำลังของสัญญาณมอดูเลตเฉลี่ยในช่วงเวลาคาบบิตดังสมการ

$$E_b = ST \quad (2.23)$$

เมื่อ  $S$  เป็นกำลังสัญญาณมอดูเลตเฉลี่ย และ  $T$  เป็นเวลาบิตของข้อมูล เราสามารถแทนค่าบิต  $R$  ได้ในสมการข้างต้นเป็น

$$E_b = \frac{S}{R} \quad (2.24)$$

เพราะฉะนั้น

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{S}{RN_o} \quad (2.25)$$

ซึ่งเมื่อนำไปแสดงความสัมพันธ์กับความหนาแน่นกำลังของสัญญาณรบกวน  $N_o$  กำลังของสัญญาณรบกวนทั้งหมด และความถี่  $W$  เป็นดังสมการ

$$\frac{E_b}{N_o} = SNR \frac{W}{R} \quad (2.26)$$

จะได้ว่า  $\frac{E_b}{N_o}$  นั้นจะสัมพันธ์กับค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน SNR ของการเชื่อมโยงและอัตราส่วนของแบนด์วิดท์ที่ใช้ส่ง  $W$  และอัตราบิต  $R$  โดยเราเรียกอัตราส่วนนี้ว่า อัตราส่วนขยายการประมวลผล (Processing Gain) ของระบบ

เมื่อพิจารณาในส่วนของการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ (Reverse Line) ของระบบ CDMA ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงส่วนที่จำกัดในเทอมของความจุ การสื่อสารเชื่อมโยงขากลับนี้เป็นการเชื่อมโยงจากเครื่องลูกข่ายที่ติดต่อไปยังสถานีฐาน เราสมมติให้ระบบนั้นเป็นการควบคุมกำลังส่งที่สมบูรณ์ก่อนในการพิจารณา ซึ่งหมายความว่ากำลังที่ส่งจากเครื่องลูกข่ายทั้งหมดจะถูกควบคุมได้อย่างสมบูรณ์ที่ภาครับของสถานีฐาน โดยกำลังที่รับได้ของเครื่องลูกข่ายทั้งหมดจะมีค่าเท่ากันภายใต้สมมติฐานดังกล่าว ค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของแต่ละผู้ใช้บริการจะมีค่าเป็นดังสมการ

$$SNR = \frac{1}{N-1} \quad (2.27)$$

โดย  $N$  เป็นจำนวนของผู้ใช้บริการทั้งหมดในขณะนั้น ที่ได้ค่าดังกล่าวเนื่องจากว่ากำลังของสัญญาณรบกวนทั้งหมดในกลุ่มนี้จะเท่ากับผลรวมของกำลังจากแต่ละผู้ใช้บริการนั่นเองมีค่าเท่ากับ  $N-1$  จากสมการข้างบนเราจะไม่ได้คิดค่าของสัญญาณรบกวนเชิงความร้อน (Thermal Noise) เมื่อเราแทนสมการที่ (2.27) ในสมการที่ (2.26) จะได้

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{1}{(N-1)} \frac{W}{R} \quad (2.28)$$

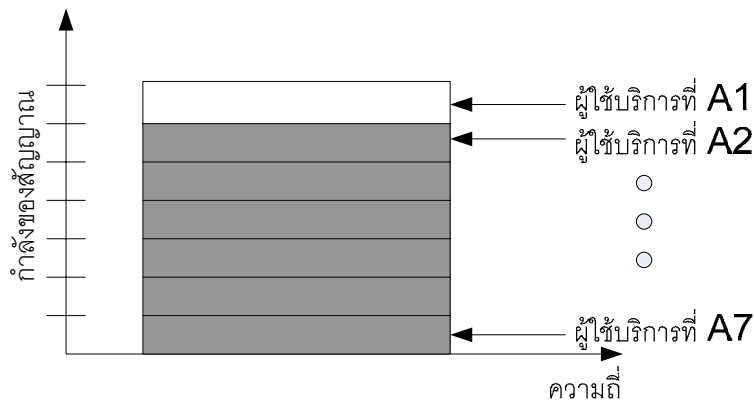
จากสมการที่ (2.28) จะได้

$$N-1 = \frac{\left(\frac{W}{R}\right)}{\left(\frac{E_b}{N_o}\right)} \quad (2.29)$$

เมื่อ  $N$  มีค่ามาก ๆ เพราะฉะนั้น

$$N \approx \frac{\left(\frac{W}{R}\right)}{\left(\frac{E_b}{N_o}\right)} \quad (2.30)$$





รูปที่ 2.5 แสดงกำลังของสัญญาณในระบบ CDMA

#### ผลของโหลดคิง Loading ที่มีผลต่อความจุ

จากสมการข้างบน เราสามารถใช้เป็นแบบจำลองในการอธิบายความสามารถในการรองรับผู้ใช้บริการในเซลล์เดียว โดยเซลล์นี้เป็นลักษณะรอบทิศทางในระนาบเดียว (Omni-Directional) และไม่ได้คิดเซลล์ข้างเคียง และใช้การส่งเต็ม 100 % ของเวลา ในความเป็นจริงจะมีเซลล์อยู่หลายเซลล์มากในระบบการสื่อสารส่วนบุคคล หรือระบบเซลล์ดูลาร์ CDMA เมื่อพิจารณาในผลของผู้ใช้บริการในเซลล์อื่น แม้ว่าผู้ใช้บริการจากเซลล์อื่นดังกล่าวเหล่านี้จะถูกควบคุมกำลังโดยเซลล์ของตนเองแต่กำลังของสัญญาณจากผู้ใช้บริการดังกล่าวก็ที่ยังคงเกิดสัญญาณแทรกสอดต่อเซลล์อ้างอิง ดังนั้นเซลล์อ้างอิงจะถูกโหลดโดยผู้ใช้บริการจากเซลล์อื่น ๆ โดยสมการข้างบนจะสามารถแสดงผลของการถูกโหลดคิงได้เป็น

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{1}{(N-1)} \frac{W}{R} \left( \frac{1}{1+\eta} \right) \quad (2.31)$$

เมื่อ  $\eta$  เป็นแฟคเตอร์ของการโหลด โดยค่าของ  $\eta$  จะอยู่ในช่วง 0-100% ในตัวอย่างแสดงดังรูป นั้น แฟคเตอร์การโหลดคิงมีค่า 0.5 ซึ่ง  $(1+0.5)$  หรือ 150% ที่มีการเพิ่มขึ้นของการแทรกสอดที่เกิดขึ้นที่เซลล์อ้างอิง

โดยส่วนกลับของแฟคเตอร์  $(1+\eta)$  นั้น บางครั้งเราเรียกว่าเป็นแฟคเตอร์ของการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ (Frequency Reuse Factor) โดยจะมีค่าเป็น

$$F = \frac{1}{1+\eta} \quad (2.32)$$

จะเห็นได้ว่าแฟคเตอร์ของการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่นั้นจะมีค่าอุดมคติเป็น 1 ในเซลล์เดียว ( $\eta = 0$ ) ส่วนในแบบหลายเซลล์นั้นค่าของ  $\eta$  จะมีค่าเพิ่มขึ้น แล้วจะส่งผลให้ F มีค่าลดลงตามความสัมพันธ์ดังกล่าว

### ผลของการโหลดิง

การแบ่งเซลล์ออกเป็นเซกเตอร์ย่อย (Sectorization) ที่มีผลต่อความจุ การแทรกสอดจากผู้ให้บริการอื่นในเซลล์อื่นที่เกิดขึ้นที่เซลล์อ้างอิงสามารถจะถูกทำให้ลดลงได้ เมื่อเซลล์อ้างอิงดังกล่าวถูกทำการแบ่งเซกเตอร์ แทนที่จะใช้สายอากาศรอบทิศทางในระนาบเดียว (Omni-Directional Antenna) ซึ่งมีแพทเทิร์นของสายอากาศเป็น 360 องศา เซลล์สามารถจะถูกแบ่งเป็น 3 เซกเตอร์ ดังนั้นแต่ละเซกเตอร์จะมีการรับสัญญาณ 120 องศา ในการทำเช่นนี้ สายอากาศที่เป็นเซกเตอร์จะปฏิเสธสัญญาณแทรกสอดจากผู้ให้บริการอื่นที่ไม่ได้อยู่ในแพทเทิร์นของสายอากาศ การจัดการดังกล่าวนี้จะลดผลของการโหลดิงโดยแฟคเตอร์ประมาณค่าเท่ากับ 3 ถ้าเซลล์ที่ถูกแบ่งเซกเตอร์เป็น 6 เซกเตอร์จะส่งผลให้การโหลดิงลดลงโดยแฟคเตอร์ ประมาณ 6 โดยแฟคเตอร์ดังกล่าวนี้จะถูกเรียกว่าเป็น Sectorization gain  $\lambda$  โดย

$$\lambda = \frac{\int_0^{2\pi} I(\theta) d\theta}{\int_0^{2\pi} \left( \frac{G(\theta)}{G(0)} \right) I(\theta) d\theta} \quad (2.33)$$

โดย  $G(\theta)$  เป็นแพทเทิร์นของสายอากาศแบบระนาบของสายอากาศเซกเตอร์  $G(0)$  เป็นอัตราขยายของสายอากาศสูงสุด ซึ่งสมมติให้เกิดขึ้นที่แนวตั้ง (Boresight,  $\theta = 0$ ) และ  $I(\theta)$  เป็นกำลังของสัญญาณแทรกสอดที่รับได้จากผู้ให้บริการในเซลล์อื่น โดยเป็นฟังก์ชันของการอินทิเกรตในสมการข้างบนนั้นกระทำในช่วง 0 ถึง 360 องศา จากสมการดังกล่าวสามารถคำนวณค่าอัตราขยายของเซกเตอร์ออกมาตรง ๆ นั้นซึ่งขึ้นโดยตรงกับอัตราขยายของสายอากาศที่ใช้เช่นเดียวกับการแจกแจงในระยะทางของผู้ให้บริการที่เป็นการแทรกสอดจากเซลล์อื่น จะเห็นได้ว่าสมการดังกล่าวไม่ได้พิจารณาแพทเทิร์นทางแนวเส้นตรงขึ้นไป ในความเป็นจริง  $\lambda$  นั้นมีค่าเป็น 2.5 สำหรับระบบที่มีการแบ่งเป็น 3 เซกเตอร์ และมีค่าเป็น 5 สำหรับระบบที่มีการแบ่งเป็น 6 เซกเตอร์ โดยสามารถปรับสมการโดยมีผลจากเซกเตอร์ได้เป็น

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{1}{(N-1)} \frac{W}{R} \left( \frac{1}{1+\eta} \right) \lambda \quad (2.34)$$

### ผลของ Voice Activity ที่มีผลต่อความจุ

จากสมการข้างบนเราได้สมมติให้ผู้ให้บริการส่งในเวลาเต็มที่เต็ม 100 % คือส่งตลอดเวลา แต่ในทางปฏิบัติตัวเข้ารหัสเสียงที่ระบบ IS-95 ใช้นั้นจะใช้เป็นอัตราที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งหมายความว่า อัตราของทางออกของตัวเข้ารหัสทางเสียงจะถูกปรับได้ให้สอดคล้องกับแพทเทิร์นในการพูดของผู้ให้บริการ ตัวอย่างเช่น ถ้าผู้ให้บริการไม่ได้พูดในช่วงของการสนทนา แล้วอัตราการเข้ารหัสของตัวเข้ารหัสทางเสียงจะถูกทำให้ต่ำลง เป็นการป้องกันกำลังงานจากการส่งที่ไม่สำเร็จผล

จากอัตราการเข้ารหัสเสียงที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้นี้ เราสามารถลดกำลังงานที่ถูกส่งออกไปได้ และนั่นก็เป็นการลดสัญญาณแทรกสอด ในทางสถิติของการพูดนั้น โดยทั่วไปการสนทนาจะเกิดขึ้นอยู่ในระหว่าง 40 % ถึง 50 % ของเวลาทั้งหมดโดยการเข้าใช้การเข้ารหัสเสียงที่มีอัตราเปลี่ยนแปลงได้ ระบบจะสามารถลดกำลังของการแทรกสอดโดยแฟกเตอร์ของ Voice Activity นี้ ดังนั้นจึงมีการแสดงสมการที่มีการ Voice Activity เป็น

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{1}{(N-1)} \frac{W}{R} \left( \frac{1}{1+\eta} \right) \lambda \frac{1}{\alpha} \quad (2.35)$$

โดย  $\alpha$  เป็นแฟกเตอร์ของ Voice Activity จะเห็นได้ว่าผลของ Voice Activity จะเป็นการทำให้ส่วนของสัญญาณแทรกสอดลดลง เพราะฉะนั้นเราจะได้แสดงค่าของ  $N$  ได้เป็นดังสมการ

$$N = 1 + \frac{\left( \frac{W}{R} \right)}{\left( \frac{E_b}{N_o} \right)} \left( \frac{1}{1+\eta} \right) \lambda \frac{1}{\alpha} \quad (2.36)$$

ซึ่งเมื่อ  $N$  มีค่ามาก ๆ ดังนั้น

$$N \approx \frac{\left( \frac{W}{R} \right)}{\left( \frac{E_b}{N_o} \right)} \left( \frac{1}{1+\eta} \right) \lambda \frac{1}{\alpha} \quad (2.37)$$

ในการสื่อสารระบบ CDMA นั้นการควบคุมกำลังส่งมีความจำเป็นต่อระบบมาก เนื่องจากผู้ใช้บริการทั้งหมดนั้นใช้ความถี่ทั้งหมดร่วมกันโดยผ่านรหัส PN ดังนั้นผู้ใช้บริการแต่ละรายจึงดูเหมือนเป็นสัญญาณรบกวนต่อผู้ใช้บริการอื่น ดังนั้นกำลังของผู้ใช้บริการแต่ละรายจะต้องมีการควบคุมเพื่อไม่ให้มีผู้ใช้บริการรายใดรายหนึ่งเป็นสัญญาณที่ไปรบกวนต่อผู้ใช้บริการอื่น ๆ ที่ใช้ความถี่ร่วมกันอยู่

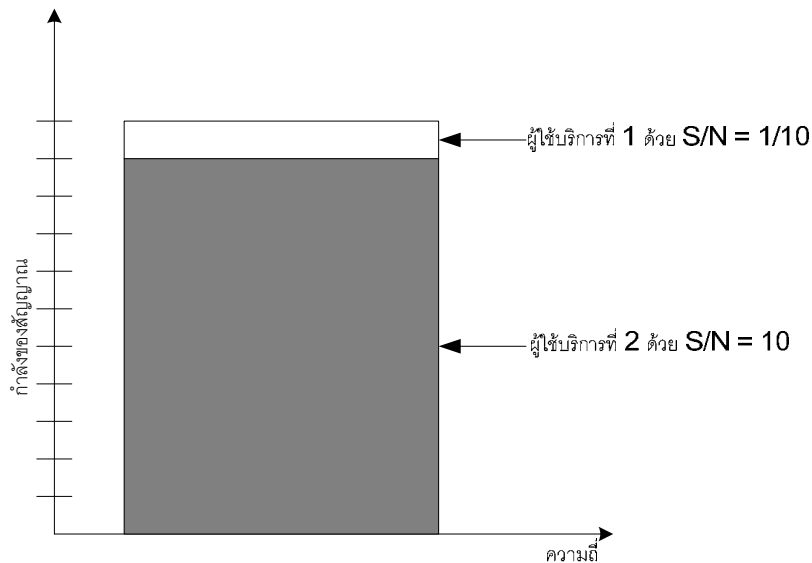
ในการแสดงถึงการควบคุมกำลังส่งนั้นมีความจำเป็นต่อระบบ CDMA อย่างไร เราจะทำการพิจารณาในเซลล์เดียวที่มีการสมมติให้มีผู้ใช้บริการอยู่สองราย โดยจะมีการอธิบายในการเชื่อมโยงขาขึ้นซึ่งเป็นส่วนการเชื่อมโยงที่เป็นตัวจำกัดของระบบ CDMA ผู้ใช้บริการที่สองเป็นผู้ใช้บริการที่อยู่ใกล้สถานีฐานมากกว่าผู้ใช้บริการที่หนึ่ง ถ้าในกรณีที่ไม่มี การควบคุมกำลัง ผู้ใช้บริการทั้งคู่จะมีกำลังที่มีค่าแน่นอนซึ่งให้เท่ากับ  $P$  อย่างไรก็ตามเพราะว่าความแตกต่างของระยะทางจะส่งผลให้กำลังที่รับได้จากผู้ใช้บริการที่สองจะมีค่ามากกว่ากำลังที่รับได้จากผู้ใช้บริการ

ที่หนึ่ง ถ้าเราสมมติให้ความแตกต่างของระยะทางของผู้ใช้บริการที่สองมากกว่าผู้บริการที่หนึ่ง เป็นสิบเท่า ดังนั้นผู้บริการที่หนึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรง

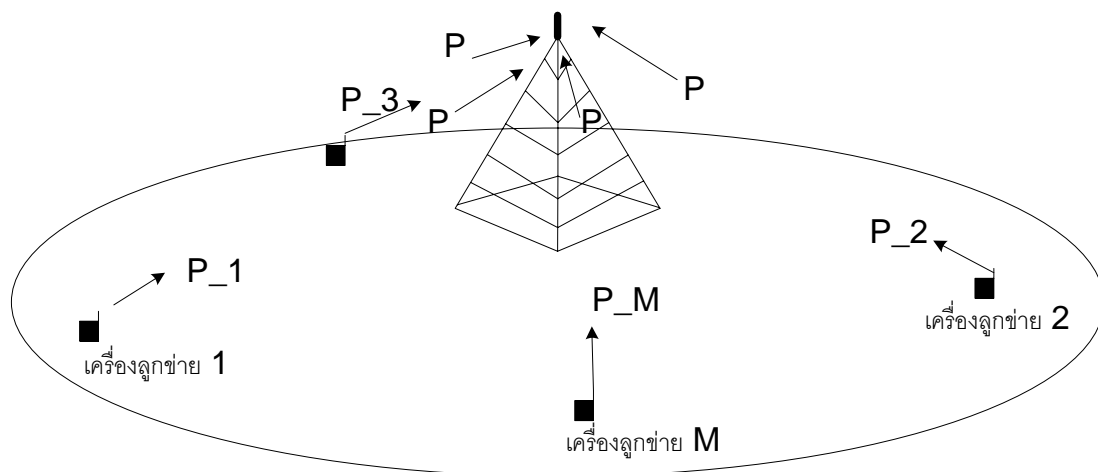
ถ้าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการ  $\left(\frac{S}{N}\right)_{required}$  มีค่าเท่ากับ 1/10 ดังนั้นเราสามารถจะเห็นความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจนระหว่างค่าของอัตราส่วนต่อสัญญาณรบกวนของทั้งสองผู้บริการ ถ้าเราไม่ได้คิดสัญญาณรบกวนเชิงความร้อน (Thermal Noise) ดังนั้นอัตราส่วนต่อสัญญาณรบกวนของผู้บริการที่สอง  $\left(\frac{S}{N}\right)_2$  จะมีค่าเท่ากับ 10 และอัตราส่วนต่อสัญญาณรบกวนของผู้บริการที่หนึ่ง  $\left(\frac{S}{N}\right)_1$  จะมีค่าเท่ากับ 1/10 นั่นคือผู้บริการที่สองจะมีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่สูงกว่าก็จะส่งผลให้คุณภาพสัญญาณดีกว่าผู้บริการที่หนึ่ง ซึ่งความไม่เท่ากันนี้จะถูกเรียกว่า ปัญหาความใกล้-ไกล (Near-Far problem) ของระบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส

ระบบในจุดดังกล่าวนี้จะเป็นการกล่าวถึงขอบเขตของความจุ เพราะเนื่องจากเหตุผลที่ว่าเราพยายามที่จะเพิ่มผู้บริการที่สามเข้าไปซึ่งส่งด้วยกำลัง  $P$  ณ ตำแหน่งใด ๆ ในเซลล์ ดังนั้นอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของผู้บริการที่สามไม่สามารถจะถึง  $\left(\frac{S}{N}\right)_{required}$  ได้ยังไปกว่านั้นถ้าเราให้ผู้บริการที่สามเข้าใช้งานในระบบ ไม่เพียงแต่ที่ผู้บริการที่สามใช้งานไม่ได้ เพราะว่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนไม่ถึง  $\left(\frac{S}{N}\right)_{required}$  แต่จะส่งผลถึงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของผู้ใช้ที่สองให้ลดลงต่ำกว่า  $\left(\frac{S}{N}\right)_{required}$  อีกด้วย

การควบคุมกำลังนั้นถูกสร้างขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาความใกล้-ไกล และเพื่อให้ได้ความจุที่สูงสุด การควบคุมกำลังจะกระทำโดยให้กำลังที่ถูกส่งมาจากแต่ละผู้บริการจะถูกควบคุมให้มีการรับได้ของกำลังดังกล่าวที่สถานีฐานมีค่าเท่ากัน ดังในรูปที่ (2.7) แสดงแนวคิดดังกล่าว

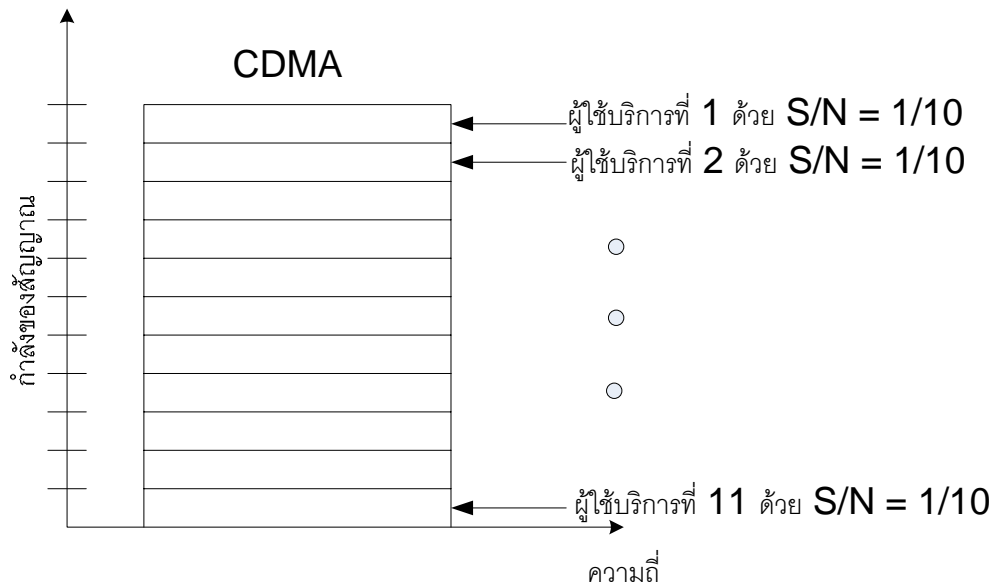


รูปที่ 2.6 แสดงกำลังจากผู้ให้บริการสองรายในสถานีฐาน โดยผู้ใช้บริการที่สองมีค่า SNR มากกว่าผู้ใช้บริการที่หนึ่ง



รูปที่ 2.7 แสดงการควบคุมกำลังที่สมบูรณ์

ภายในเซลล์ถ้ากำลังที่ส่งของแต่ละผู้ใช้บริการถูกควบคุม จะทำให้กำลังที่รับได้ที่สถานีฐานของแต่ละผู้ใช้บริการนั้นมีค่าเท่ากันคือ  $P_r$  ดังนั้นจะทำให้สามารถรองรับผู้ใช้บริการได้มากขึ้น จากตัวอย่างที่ผ่านมาถ้า  $\left(\frac{S}{N}\right)_{required}$  ยังคงเป็น 1/10 ดังนั้นจำนวนของผู้ใช้บริการทั้งหมดจะเท่ากับ 11 ที่สามารถรองรับได้โดยระบบ CDMA แล้วความจุจะเพิ่มขึ้นได้มากที่สุดจากการควบคุมกำลัง



รูปที่ 2.8 แสดงความจุที่ได้สูงสุดเมื่อกำลังที่รับได้ของผู้ให้บริการทั้งหมดมีค่าเท่ากันที่สถานีฐาน

#### 2.3.3.1 การควบคุมกำลังแบบเปิด (Open Loop Power Control)

ในรูปแบบของการควบคุมกำลังแบบนี้ ตัวเครื่องลูกข่ายจะเป็นตัวจัดการกระบวนการเอง ทั้งสิ้นไม่ได้เกี่ยวข้องกับสถานีฐานเลย กระบวนการควบคุมแบบเปิดจะเป็นกระบวนการที่กระทำอย่างต่อเนื่องหลังจากที่สถานีฐานนั้นรับรู้การขอเข้าใช้งานช่องสัญญาณของเครื่องลูกข่าย และหลังจากที่เครื่องลูกข่ายเริ่มส่งในช่องสัญญาณโทรศัพท์

หลังจากที่มีการเรียกเข้า เมื่อเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ไปรอบ ๆ ภายในเซลล์ แล้วการสูญเสียเชิงระยะทางระหว่างเครื่องลูกข่ายกับสถานีฐานจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง จากผลดังกล่าว กำลังที่ถูกรับได้ที่เครื่องลูกข่ายจะมีการเปลี่ยนแปลงและการควบคุมกำลังแบบเปิดจะทำการตรวจสอบสัญญาณกำลังที่ถูกรับที่เครื่องลูกข่ายอย่างต่อเนื่อง และจะมีการปรับกำลังของสัญญาณที่ถูกส่งออกไป

กล่าวได้จากการควบคุมกำลังแบบเปิดจะอยู่บนพื้นฐานของการประมาณการสูญเสียเชิงระยะทางในทิศทางไปยังสถานีฐาน การควบคุมกำลังนี้เป็นการชดเชยในส่วนของปรากฏการณ์ถูกบดบังแบบลือกอนอ้อม และการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ โดยเป็นการสหสัมพันธ์ระหว่างการจางหายในส่วนการเชื่อมโยงไปข้างหน้ากับส่วนการเชื่อมโยงย้อนกลับ อย่างไรก็ตามความถี่ของการเชื่อมโยงขาไปและขากลับนั้นก็ใช้ความถี่ที่ต่างกัน การควบคุมกำลังแบบเปิดจึงไม่เพียงพอและมีความช้าเกินไปที่จะสามารถชดเชยการจางหายเร็วแบบเรียลไทม์ได้ หรือในอีกแง่หนึ่งเมื่อมีการจางหายเร็วแบบเรียลไทม์ จะไม่สามารถใช้การควบคุมกำลังแบบเปิดมาชดเชยการจางหายเร็วแบบเรียลไทม์ได้

### 2.3.3.2 การควบคุมกำลังแบบลูปเปิด (Close Loop Power Control)

การควบคุมกำลังแบบลูปเปิดนั้นถูกใช้สำหรับการชดเชยสำหรับการเปลี่ยนแปลงของกำลังเนื่องจากเฟดดิ้งแบบเรย์ลีแบบรวดเร็ว โดยเป็นลูปปิดเพราะว่ากระบวนการจะเกี่ยวข้องกับทั้งสถานีฐานและเครื่องลูกข่าย เมื่อเครื่องลูกข่ายได้รับช่องสัญญาณทราฟฟิกและเริ่มการสื่อสารกับสถานีฐาน กระบวนการของการควบคุมกำลังแบบปิดจะกระทำร่วมกันไปด้วยการควบคุมกำลังแบบลูปเปิด ในการควบคุมกำลังแบบลูปปิด ทางสถานีฐานจะทำการตรวจวัดทั้งสัญญาณของทางสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ (Reverse Link) และคุณภาพของการเชื่อมโยง ถ้าคุณภาพของการเชื่อมโยงเริ่มที่จะไม่ดี ทางสถานีฐานจะมีคำสั่งไปยังเครื่องลูกข่ายผ่านการเชื่อมโยงขาไป (Forward Link) ทำให้การเพิ่มกำลังของสัญญาณเพิ่มขึ้น ถ้าในกรณีที่คุณภาพของสัญญาณดีเกินไป นั่นคือการที่มีกำลังของสัญญาณสูงเกินไปในการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ ในกรณีนี้ทางสถานีฐานจะสั่งให้ทางเครื่องลูกข่ายลดกำลังที่ส่งลง ในอุดมคติอัตราความผิดพลาดต่อเฟรมนั้นจะเป็นตัววัดคุณภาพของการเชื่อมโยงที่ดี แต่เพราะว่าจะทำให้ใช้เวลานาน สำหรับสถานีที่ใช้จำนวนบิตที่จะมาคำนวณให้ถูกต้อง ดังนั้น  $\frac{E_b}{N_o}$  จึงถูกใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ

การควบคุมกำลังแบบลูปปิดมีกระบวนการในการกระทำดังนี้

1. สถานีฐานจะทำการตรวจวัด  $\frac{E_b}{N_o}$  อย่างต่อเนื่องในการสื่อสารเชื่อมโยงขากลับ
2. ถ้า นั้นมีค่าสูงเกินไป  $\frac{E_b}{N_o}$  (เช่นเป็นการเกินกว่าจุดเริ่มเปลี่ยน) ดังนั้นสถานีฐานจะมีคำสั่งให้เครื่องลูกข่ายลดกำลังลงมา
3. ถ้า นั้นมีค่าต่ำเกินไป  $\frac{E_b}{N_o}$  (เช่นเป็นการต่ำกว่าจุดเริ่มเปลี่ยน) ดังนั้นสถานีฐานจะมีคำสั่งให้เครื่องลูกข่ายเพิ่มกำลังขึ้นไป สถานีฐานจะส่งคำสั่งของการควบคุมกำลังไปยังเครื่องลูกข่ายโดยใช้การเชื่อมโยงขาไป โดยคำสั่งในการควบคุมจะเรียกว่าเป็น บิตของการควบคุมกำลัง (Power Control Bit: PCBs) ปริมาณของกำลังของเครื่องลูกข่ายที่ถูกสั่งให้เพิ่มหรือลดนั้นโดยทั่วไปจะมีค่า 1 dB และ -1 dB เนื่องจากการควบคุมกำลังแบบลูปปิด นั้นหมายความว่า จะเป็นการชดเชยเฟดดิ้งแบบเรย์ลีอย่างรวดเร็ว ดังนั้น การตอบสนองของเครื่องลูกข่ายต่อคำสั่งในการควบคุมกำลังจึงต้องมีความเร็วมาก จากเหตุผลดังกล่าวบิตของ PCBs เหล่านี้จะถูกส่งตรงผ่านช่องสัญญาณทราฟฟิก แต่เมื่อมีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับบิตเหล่านี้ก็จะทำให้เกิดผลกระทบต่อการควบคุมกำลังเกิดขึ้นเช่นกัน

ในการควบคุมกำลังแบบลูปิดนั้นจะมีอยู่ 3 จุด ที่เราต้องกล่าวถึงเพิ่มเติมดังนี้

1. บิตของการควบคุมกำลังส่งนั้น ไม่ได้ถูกป้องกันจากความผิดพลาด

ดังนั้น PCBs นั้นถูกมัลติเพล็กซ์ไปบนช่องสัญญาณไปข้างหน้าหลังจากตัวเข้ารหัสแบบคอนไวลูชัน ดังนั้นจึงไม่ได้มีการป้องกันความผิดพลาดให้แก่บิตดังกล่าว ซึ่งเป็นการกระทำเพื่อลดการหน่วงเวลาในการถอดรหัสและดึงเอาออกมาของบิตที่ป้องกันความผิดพลาด และเนื่องจากการควบคุมกำลังแบบลูปิดนั้นถูกใช้ชดเชยการเฟดดิ้งแบบเรย์ลีย์อย่างรวดเร็ว ทำให้ PCBs จึงไม่ได้ป้องกันความผิดพลาดเพื่อที่จะให้เครื่องลูกข่ายสามารถนำบิตดังกล่าวมาให้ได้เร็ว และทำการปรับกำลังที่ส่งให้ได้ตามนั้น จากเหตุผลดังกล่าวความน่าจะเป็นของความผิดพลาดบิตสำหรับช่องสัญญาณย่อยของการควบคุมกำลังอาจจะสูงกว่าช่องสัญญาณทราฟฟิก ถ้าไม่มีการจัดการเป็นพิเศษ

2. การควบคุมกำลังแบบลูปิดจะมีลูปิดใน (Inner Loop) และลูปิดนอก (Outer Loop)

ในที่นี้จะอธิบายเฉพาะลูปิดภายในของกระบวนการควบคุมแบบลูปิด การมีอยู่ของลูปิดภายในคือการมี Predetermined SRN Threshold โดยการตัดสินใจให้มีการเพิ่มขึ้นและลดลงของกำลัง เมื่อเราพยายามที่จะรักษาให้มีค่าของอัตราความผิดพลาดต่อเฟรมนั้นคงที่ไว้ที่ค่าที่เราสามารถยอมรับได้ และเมื่อสิ่งแวดล้อมของตัวเครื่องลูกข่ายไม่ได้เป็นความสัมพันธ์แบบ 1 ต่อ 1 ระหว่าง FER และ  $\frac{E_b}{N_o}$  ดังนั้น ค่า Threshold ของ  $\frac{E_b}{N_o}$  จะมีการปรับแบบไดนามิกเพื่อรักษาให้ค่า FER มีค่าคงที่ซึ่งเราสามารถยอมรับได้ การปรับของค่า Threshold ของ  $\frac{E_b}{N_o}$  นี้จะกระทำโดยอ้างอิงจากลูปิดนอกของการควบคุมกำลังแบบลูปิด โดยกระบวนการลูปิดนอกของการควบคุมกำลังแบบลูปิดนั้นไม่ได้นิยามสำหรับมาตรฐาน IS-95 โดยกระบวนการผลิตที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานจะอิสระที่สร้างอัลกอริทึมของลูปิดนอกได้เอง

3. การควบคุมกำลังแบบลูปิดในระหว่างการเปลี่ยนถ่ายเซลล์อย่างนุ่มนวล (Soft Handoff)

ระบบ IS-95 CDMA จะมีการใช้การเปลี่ยนถ่ายเซลล์อย่างนุ่มนวล เมื่อเครื่องลูกข่ายมีการเคลื่อนที่ระหว่าง 2 หรือ 3 เซลล์ โดยการเปลี่ยนถ่ายเซลล์อย่างนุ่มนวลเป็นกระบวนการโดยที่เครื่องลูกข่ายยังคงรักษาการติดต่ออยู่กับสถานีฐาน 2 หรือ 3 สถานีฐานที่เครื่องลูกข่ายนั้นมีการเคลื่อนที่อยู่ ในระหว่างการเปลี่ยนถ่ายเซลล์อย่างนุ่มนวล เครื่องลูกข่ายจะรับเฟรมของช่องสัญญาณทราฟฟิกจาก 2 หรือ 3 สถานีฐาน และบนช่องสัญญาณทราฟฟิกดังกล่าวนี้ อาจจะมีการขัดแย้งกันเองในส่วนของบิต PCBs ในสถานการณ์เหล่านี้ ตัวเครื่องลูกข่ายจะกระทำตามกฎต่อไปนี้ ถ้าเพียงสถานีฐานใดสถานีหนึ่งมีคำสั่งให้ลดกำลังลงมา เครื่องลูกข่ายก็จะลดกำลังลงมาและเครื่องลูกข่ายจะเพิ่มกำลังเมื่อสถานีฐานทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการทำเปลี่ยนถ่ายเซลล์อย่างนุ่มนวลมีคำสั่งจากทุกสถานีฐานให้เพิ่มกำลังเท่านั้น



### บทที่ 3

#### หลักการพื้นฐานของทราฟฟิกของระบบ CDMA

##### 3.1 หลักการพื้นฐานของทราฟฟิกในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

ปัญหาในการให้บริการระบบโทรศัพท์ คือ จะทำอย่างไรที่จะให้ระบบสามารถให้บริการที่ดีกับผู้ใช้บริการโดยใช้ต้นทุนที่เหมาะสม สิ่งที่ต้องพิจารณาถึงคือการพัฒนาระบบให้มีความจุสูงสุด โดยการคำนึงถึงต้นทุนต่างๆ และสร้างระบบให้รองรับความต้องการตามที่ได้ประมาณเอาไว้ได้ เทคนิคนี้เรียกว่า “วิศวกรรมทราฟฟิก” (Traffic Engineering) การใช้เทคนิคดังกล่าวจะอยู่ในพื้นฐานในหลักการของหลักความน่าจะเป็นและทฤษฎีการรอ (Queuing Theory)

วิศวกรรมทราฟฟิก (Traffic Engineering) จะแตกต่างกันที่ระบบแต่ละระบบนั้นจะจัดการกับความหนาแน่นของปริมาณทราฟฟิกอย่างไร ซึ่งมีวิธีการอยู่ 2 วิธีด้วยกัน อย่างแรกคือ ระบบการเรียกที่ไม่มีการรอคอย ซึ่งจะทำการตัดสายทิ้งโดยไม่ให้บริการ วิธีนี้เรียกว่า Blocked-Call-Cleared (BCC) อย่างที่สองคือ ระบบการเรียกที่มีการรอคอย ซึ่งจะทำการจัดคิวสายที่ใช้และให้บริการเมื่อสามารถทำได้ วิธีนี้เรียกว่า Blocked-Call-Delay (BCD) ระบบเครือข่ายโทรศัพท์แบบ Circuit Switching ทั่วไปนั้น จะใช้ระบบการเรียกที่ไม่มีการรอคอย เช่น เครือข่ายโทรศัพท์ที่มีการใช้อย่างหนาแน่นจะใช้สัญญาณสายไม่ว่างในการปฏิเสธไม่ให้บริการ ในทางตรงข้ามเครือข่ายข้อมูลหลายเครือข่ายจะใช้ระบบการเรียกที่มีการรอคอย

ในสถานการณ์ใดๆ ที่การรอรับบริการซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนในกระบวนการ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ความต้องการของผู้ใช้บริการในระบบซึ่งเรียกว่า “โหลดขอบริการ” (Offered Load) หรือความต้องการของผู้ใช้บริการ และสามารถอยู่ในรูปของการเรียกของโทรศัพท์ โหลดขอบริการจะถูกนิยามโดยสองกระบวนการที่เกิดขึ้นแบบสุ่มดังนี้

1. อัตราการเข้ามาเฉลี่ยของผู้ใช้บริการที่ร้องขอรับบริการ  $\lambda$  (Average Arrival)
2. อัตราเฉลี่ยของระยะเวลาที่ผู้ใช้บริการต้องการใช้บริการ (Average Holding Time)  $T$

ระบบที่สมบูรณ์จะต้องไม่มีการรอคอย (Delay) ถ้าจำนวนผู้ใช้บริการ  $n$  คน ต่อเชื่อมเข้าระบบ การทำระบบไม่มีการรอคอยจะต้องมีการเชื่อมต่อโดยตรงโดยใช้สูตร  $n(n-1)/2$  ซึ่งเป็นไปไม่ได้อย่างแน่นอน ดังนั้นระบบโทรศัพท์จึงได้รับการออกแบบเพื่อให้มีการรอคอย (Delay) ที่เหมาะสมในระหว่างช่วงทราฟฟิกเป็นปกติ และตัดสายในช่วงเวลาที่มีทราฟฟิกมาก

สำหรับระบบการให้บริการใดๆ ก็ตามที่มีผู้บริการ (Servers) เพียงพอที่จะสามารถให้บริการผู้ใช้บริการได้ทันทีที่ร้องขอ ซึ่งค่าเฉลี่ยจำนวนผู้ใช้บริการ (Servers) ที่ไม่ว่างได้มาจากผลคูณของ  $\lambda$  และ  $T$  เสมอ โดยความสัมพันธ์นี้จะอิสระจากการเข้ามาและเวลาที่ให้บริการ (Holding Time) จากผลของการตั้งสมมุติฐาน Offered Load ( $a$ ) (จำนวนสายที่ขอใช้บริการ) ถูกกำหนดจาก

$$a = \lambda \times T \quad (3.1)$$

โดยทั่วไปค่าเฉลี่ยการเข้ามา และค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้บริการนั้นจะแสดงหน่วยของเวลา ซึ่งจำนวนปริมาณจะแสดงในหน่วยของเออร์แลง (Erlangs)

ตัวอย่างเช่น สมมติว่าผู้ใช้โทรศัพท์ทั้งหมด 200 ราย ทำให้เกิดการโทร 60 ครั้ง ระหว่างชั่วโมงใช้สูงสุด (Busy Hour) ค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้บริการ (Holding Time) คือ 240 วินาที ดังนั้นค่าเฉลี่ยการได้รับบริการ (Arrival Rate) คือ

$$60/3600 = \text{Request} / 1 \text{ วินาที}$$

เออร์แลงสามารถคำนวณได้จาก

$$\frac{60 \text{ Calls}}{3600 \text{ Second}} \times \frac{240 \text{ Second}}{\text{Call}} = 4 \text{ เออร์แลง}$$

นอกจากเออร์แลงแล้วระบบโทรศัพท์จะวัดค่าหน่วยเป็น CCS (Hundred-Call Seconds) ต่อชั่วโมง (ปริมาณการใช้สายเป็นเวลา 100 วินาที) โดย CCS คำนวณจาก

$$CCS = NCBH \times HT/100$$

$NCBH$  = จำนวนการโทรใน 1 ชั่วโมงที่ชั่วโมงใช้สูงสุด (Busy Hour)

$HT$  = ค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้บริการ (Holding Time)

1 ชั่วโมง มี 3600 วินาที ดังนั้นกราฟฟิกขอบริการ (Traffic Load) ที่ต่อเนื่องกันใน 1 ชั่วโมง จะมีค่าเท่ากับ 36 CCS หรือหนึ่งเออร์แลง โดยหน่วย CCS เป็นหน่วยที่ใช้ทั่วไปสำหรับการวัด ทราฟฟิกของระบบโทรศัพท์ ซึ่งจากตัวอย่างปริมาณการใช้สายเป็นเวลา 100 วินาทีคือ

$$(60 \times 240)/100 = 144 \text{ CCS}$$

ทราฟฟิกต่อผู้โทร 1 คน คือ

$$4 \text{ เออร์แลง} / 200 \text{ คน} = 0.002 \text{ เออร์แลง} / \text{ผู้โทร 1 คน}$$

หรือคิดเป็น

$$144 / 200 = 0.72 \text{ CCS} / \text{ผู้โทร 1 คน}$$

### 3.2 ระดับการบริการ (Grade of Service)

อัตราการติดขัด และความน่าจะเป็นของการติดขัดนั้นจะมีลักษณะที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งอัตราการติดขัดหาได้จากการคำนวณปริมาณซึ่งเกิดขึ้นที่สถานีฐาน ในส่วนของความน่าจะเป็นของการติดขัดเป็นความน่าจะเป็นที่การเรียกเกิดการบล็อกเนื่องจากช่องสัญญาณไม่ว่าง โดยจะขึ้นอยู่กับโหลดขอบริการ (Offered Load) และจำนวนของช่องสัญญาณ ซึ่งสามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณหาความน่าจะเป็นของการติดขัด ดังนั้นระดับการบริการ (Grade of Service) สามารถพิจารณาได้จากเทอมของความน่าจะเป็นของการติดขัด

ความน่าจะเป็นของการติดขัดที่เกิดจากโหลดขอบริการ (Offered Load) ในระหว่างชั่วโมงใช้โทรศัพท์สูงสุด ซึ่งเกิดขึ้นจากโหลดบริการ (Carried Load) สูงสุดในระหว่างหนึ่งชั่วโมงซึ่งเกิดขึ้นที่สถานีฐาน ดังนั้นการกำหนดช่องสัญญาณสำหรับชั่วโมงใช้บริการสูงสุดจะต้องให้อัตราการติดขัดที่ต้องการในระหว่างเวลาที่ให้บริการสูงสุดสัมพันธ์กับในระหว่างเวลาที่ให้บริการต่ำสุด

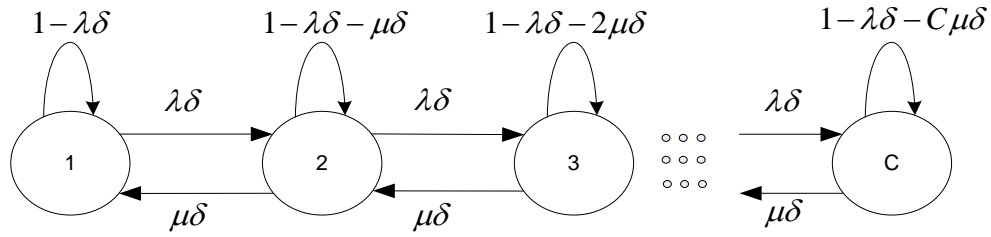
เออร์แลง-บี และเออร์แลง-ซี เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายซึ่งจะเกี่ยวข้องกันระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัด โหลดขอบริการ (Offered Load) และจำนวนของช่องสัญญาณ

#### 3.2.1 เออร์แลง-บี (Erlang-B)

ในรูปแบบของเออร์แลง-บี โดยกำหนดให้ความน่าจะเป็นของการเรียกจะถูกบล็อก (Blocked) และใช้วัดระดับของการให้บริการของระบบโดยที่การเรียกที่ถูกบล็อกจะไม่มี การรอเข้าคิว (Block-Call-Cleared) ซึ่งมีเงื่อนไขดังนี้

- การเรียกจะเป็นแบบไม่มีความจำ ทุก ๆ ผู้ใช้บริการ และผู้ให้บริการที่ถูกบล็อกจะสามารถเรียกขอใช้ช่องสัญญาณได้ทุกเวลา
- ทุกช่องสัญญาณที่ว่างสามารถให้บริการได้ทุกช่องสัญญาณ
- ความน่าจะเป็นของการใช้ช่องสัญญาณหรือเวลาในการบริการจะมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล
- ช่องสัญญาณที่สามารถให้บริการได้มีจำนวนจำกัด
- ทราฟฟิกที่ต้องการอธิบายโดยความสัมพันธ์ของการเข้าใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซองและระยะเวลาในการใช้บริการที่เป็นการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล
- ระยะเวลาของการใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้งานจะเป็นอิสระต่อกัน

เมื่อพิจารณาเออร์แลง-บีในระบบของการเข้าคิวแบบ  $M/M/C/C$  โดยที่  $M$  ตัวแรกจะหมายถึงการเรียกเข้าซึ่งมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล  $C$  ตัวแรกหมายถึงจำนวนช่องสัญญาณที่สามารถให้บริการได้  $C$  ตัวที่สองหมายถึงจำนวนสูงสุดของการให้บริการ



รูปที่ 3.1 แสดงสถานะของห่วงโซ่มาร์คอฟ สำหรับเออร์แลง-บี

จากรูปที่ 3.1 จะเป็นรูปห่วงโซ่มาร์คอฟ(Markov Chain) ซึ่งสามารถใช้อธิบายเออร์แลง-บีได้ โดยพิจารณาสถานะให้อยู่ในรูปของกระบวนการสุ่ม  $\{X_n | n=0,1,2,\dots\}$  ดังนั้นสถานะของกระบวนการที่จะเป็นไปได้อีกคือ  $I=0,1,2,\dots$  และถ้ามีการเปลี่ยนแปลงสถานะจาก  $i$  ไปเป็น  $i+1$  โดยที่สถานะ  $i+1$  จะขึ้นอยู่กับสถานะ  $i$  และไม่ขึ้นอยู่กับสถานะก่อนหน้านี้ เมื่อพิจารณาช่วงเวลาสั้นๆ  $\delta$  ถ้า  $N_k$  คือจำนวนการเรียกที่เวลา  $k\delta$  จะได้

$$N_c = N(k\delta) \quad (3.2)$$

โดยที่  $N_c$  คือจำนวนช่องสัญญาณที่ถูกใช้งานซึ่งได้จากกระบวนการสุ่มแบบดิสคริต (Discrete Random Process) และ  $N_k$  เป็น Discrete Time Markov chain ด้วยความน่าจะเป็นที่สถานะคงตัวโดยลำดับของสถานะเป็น  $0, 1, 2, \dots, C$

โดยลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของ  $P_{i,j}$  คือ

$$P_{i,j} = \{N_{k+1} = j | N_k = i\} \quad (3.3)$$

$$P_{00} = 1 - \lambda\delta + o(\delta) \quad (3.4)$$

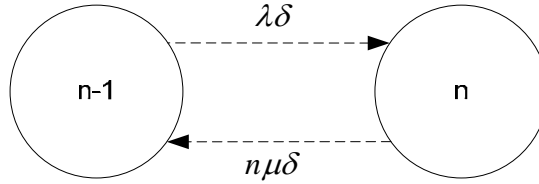
$$P_{ii} = 1 - \lambda\delta - \mu\delta + o(\delta) \quad , i \geq 1 \quad (3.5)$$

$$P_{i,i+1} = \lambda\delta + o(\delta) \quad , i \geq 0 \quad (3.6)$$

$$P_{i,i-1} = \mu\delta + o(\delta) \quad , i \geq 1 \quad (3.7)$$

$$P_{i,j} = o(\delta) \quad , j \neq i, j \neq i+1, j \neq i-1 \quad (3.8)$$

จากรูปที่ (3.1) จะได้ว่าความน่าจะเป็นจากการเปลี่ยนสถานะจากสถานะ 0 ไปเป็นสถานะ 1 เป็น  $\lambda\delta$  และในทำนองเดียวกัน ความน่าจะเป็นจากการเปลี่ยนสถานะจากสถานะ 1 ไปเป็นสถานะ 0 เป็น  $1 - \lambda\delta - \mu\delta$  และความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะทั้งหมดมีค่ารวมกันเท่ากับ 1



รูปที่ 3.2 แสดงสถานะของห่วงโซ่มาร์คอฟสำหรับเออร์แลง-บี ที่สภาวะคงตัว

เมื่อพิจารณาระยะเวลาที่นานพอระบบจะอยู่ในสถานะคงตัว (Steady State) และมีจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ  $n$  จะมีค่าเท่ากับการเปลี่ยนสถานะไปเป็นสถานะ  $n-1$  จะได้

$$\lambda\delta P_{n-1} = n\mu\delta P_n, n \leq C \quad (3.9)$$

จากสมการที่ (3.9) จะเป็น Global Balance Equation และจาก

$$\sum_{n=0}^C P_n = 1 \quad (3.10)$$

$$\lambda\delta P_{n-1} = n\mu\delta P_n, n = 1, 2, 3, \dots, C \quad (3.11)$$

$$\lambda P_{n-1} = P_n n\mu \quad (3.12)$$

$$P_i = \frac{\lambda P_0}{\mu} \quad (3.13)$$

จากสมการที่ (3.11) จะได้ว่าความน่าจะเป็นที่สถานะ  $n$  ใดๆ เป็น

$$P_n = P_0 = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \frac{1}{n!} \quad (3.14)$$

โดยที่

$$P_0 = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_n n! = 1 - \sum_{i=1}^C P_i \quad (3.15)$$

แทนค่าสมการ

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^c \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \frac{1}{n!}} \quad (3.16)$$

จากสมการที่ (3.14) ความน่าจะเป็นของการติดขัด สำหรับจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ  $C$

$$P_c = P_0 \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^c \frac{1}{C!} \quad (3.17)$$

แทนค่าสมการที่ (3.16) ลงในสมการที่ (3.17)

$$P_c = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^c \frac{1}{C!}}{\sum_{n=0}^c \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \frac{1}{n!}} \quad (3.18)$$

### 3.2.2 เออร์แลง-ซี (Erlang-C)

ในรูปแบบของเออร์แลง-ซี จะกำหนดให้ผู้ใช้ถูกบล็อก เกิดการรอคอยในกรณีที่ผู้ใช้บริการช่องสัญญาณจนเต็ม โดยความน่าจะเป็นของการรอคอยจะเป็น

$$P_r[Calldelayed] = \frac{A^c}{A^c + C! \left(1 - \frac{A}{C}\right) \sum_{k=0}^{c-1} \frac{A^k}{k!}} \quad (3.19)$$

เมื่อไม่มีช่องสัญญาณใดว่างพอที่จะใช้งานได้ การเรียกก็จะถูกจัดให้รอคอยอยู่ในระบบคิว ความน่าจะเป็นที่การเรียกที่ต้องรอคอยในคิวเวลาที่มากกว่า  $t$  วินาทีคือ

$$P_r[Wait > t | Delayed] = e^{-\frac{(C-A)}{H}t} \quad (3.20)$$

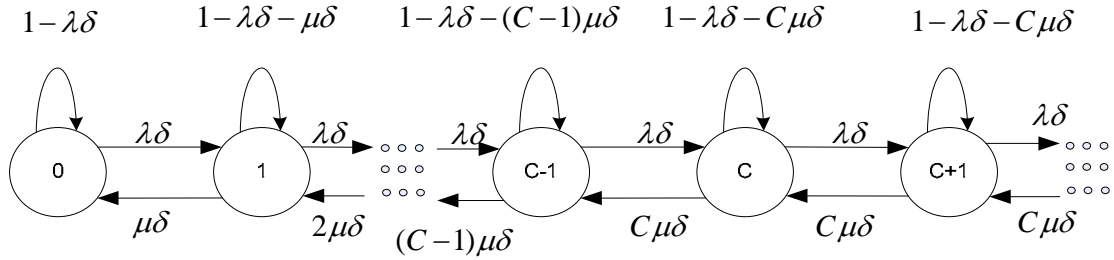
โดยที่  $C$  คือจำนวนของช่องสัญญาณทั้งหมดที่สามารถใช้งานได้  $t$  คือเวลารอคอยที่สนใจ และ  $H$  คือค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาของการเรียก ความน่าจะเป็นของการเรียกเข้ามาต้องรอคอยในคิวเป็นเวลาที่มากกว่า  $t$  วินาที

$$\begin{aligned} P_r[Wait > t] &= P_r[Calldelayed] P_r[Wait > t | Delayed] \\ &= P_r[Calldelayed] e^{-\frac{(C-A)}{H}t} \end{aligned} \quad (3.21)$$

ค่าเฉลี่ย  $D$  ในการรอคอยคิวของระบบจะเป็น

$$D = \int_0^{\infty} P_r[\text{Calldelayed}] e^{-\frac{(C-A)}{H}t} dt \quad (3.22)$$

$$D = P_r[\text{Calldelayed}] \frac{H}{(C-A)} \quad (3.33)$$



รูปที่ 3.3 แสดงสถานะของห่วงโซ่มาร์คอฟสำหรับเออร์แลง-ซี

เออร์แลง-ซีสามารถอธิบายได้ในระบบคิวแบบ  $M/M/C/D$  โดย  $C$  คือจำนวนสูงสุดของผู้ใช้งานที่สามารถใช้งานได้พร้อมกัน  $D$  คือ จำนวนของการเรียกที่อยู่ในระบบการรอคิว เมื่อสมมติให้  $D$  มีค่าเป็นอนันต์ระบบคิวจะเป็นแบบ  $M/M/C/\infty$  หรือในรูปแบบทั่วไปคือ  $M/M/C$  ถ้า  $D$  เป็นอนันต์ ดังนั้น  $P_k$  คือความน่าจะเป็นของสถานะ  $k$  ที่สภาวะคงตัว (Steady State)

$$P_k = \lim_{k \rightarrow \infty} P_r\{N_t = k\} \quad (3.34)$$

โดยที่  $N_t$  คือจำนวนของการเรียกหรือการรอคอยทั้งหมดในระบบที่เวลา  $t$  ที่สภาวะคงตัวความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะจาก  $k$  ไปเป็นสถานะ  $k-1$  จะมีค่าเท่ากับความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะจาก  $k-1$  ไปเป็นสถานะ  $k$  และจากรูปที่ (3.3)

$$\lambda\delta P_{k-1} = k\mu\delta P_k, \quad k \leq C \quad (3.35)$$

โดยที่

$$P_k = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) \frac{1}{k} P_{k-1}, \quad k \leq C \quad (3.36)$$

และ

$$\lambda\delta P_{k-1} = C\mu\delta P_k, \quad k \geq C \quad (3.37)$$

$$P_k = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) \frac{1}{C} P_{k-1}, \quad k \geq C \quad (3.38)$$

$$P_k = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{1}{k!} P_0, k \leq C \quad (3.39)$$

$$P_k = \frac{1}{C!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{1}{C^{k-C}} P_0, k \geq C \quad (3.39)$$

ในเมื่อ  $\sum_{k=0}^{\infty} P_k = 1$  จะได้

$$P_0 \left[ 1 + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) + \dots + \frac{1}{C!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{C+1} \frac{1}{C^{(C+1)-C}} + \dots \right] = 1 \quad (3.40)$$

$$P_0 \left[ 1 + \sum_{k=1}^{C-1} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{1}{k!} + \sum_{k=C}^{\infty} \frac{1}{C!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{1}{C^{k-C}} \right] = 1 \quad (3.41)$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=1}^{C-1} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{1}{k!} + \frac{1}{C!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^C \frac{1}{\left(1 - \frac{\lambda}{\mu C}\right)}} \quad (3.42)$$

ความน่าจะเป็นของการเรียกเข้ามาเมื่อทุกช่องสัญญาณ  $C$  ถูกใช้งานจนเต็ม ซึ่งการเรียกในครั้งนี้จะต้องเข้าระบบการรอคิวจะเป็น

$$\begin{aligned} P_r [C \text{ ch. are busy}] &= \sum_{k=C}^{\infty} P_k = \sum_{k=C}^{\infty} \frac{1}{C!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{1}{C^{k-C}} P_0 \\ &= P_0 \frac{1}{C!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^C \sum_{k=C}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{k-C} \frac{1}{C^{k-C}} \\ &= P_0 \frac{1}{C!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^C \frac{1}{\left(1 - \frac{\lambda}{\mu C}\right)} \end{aligned} \quad (3.43)$$

สำหรับสมการที่ (3.43) จะใช้ได้สำหรับ  $\frac{\lambda}{\mu C} < 1$  ซึ่ง  $P_0$  เป็นไปตามสมการที่ (3.42)



$$\begin{aligned}
P_r [C \text{ ch. are busy}] &= \frac{\frac{1}{C!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^C}{\left(1 - \frac{\lambda}{\mu C}\right)} \frac{1}{\left[ \sum_{k=1}^{C-1} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{1}{k!} + \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^C \frac{1}{\left(1 - \frac{\lambda}{\mu C}\right)} \right]} \\
&= \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^C}{\left[ \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^C + C! \left(1 - \frac{\lambda}{\mu C}\right) \sum_{k=1}^{C-1} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{1}{k!} \right]} \quad (3.44)
\end{aligned}$$

### 3.3 ความจุเออร์แลงของระบบ CDMA

เราจะพิจารณาในส่วนการเชื่อมโยงขากลับ CDMA ซึ่งเป็นส่วนของการเชื่อมโยงที่จำกัดความจุของระบบ การติดขัดจะถูกนิยามว่าเกิดขึ้นเมื่อการสะสมทั้งหมดของผู้ใช้บริการทั้งภายในเซกเตอร์หรือเซลล์และเซลล์อื่นๆ นำเข้าไปสู่ปริมาณของความหนาแน่นของการแทรกสอด  $I_0$  ที่มากกว่าระดับของสัญญาณรบกวนพื้นฐาน (Background Noise)  $N_0$  โดยปริมาณของ  $1/\eta$  เริ่มมีค่าเป็น 10 dB ถ้าเป็นไปตามข้อสมมติฐานดังนี้

1. จำนวนของผู้ใช้บริการ  $M$  ในเซกเตอร์มีค่าคงที่
2. ผู้ใช้บริการในแต่ละรายได้ถูกควบคุมกำลังส่งแบบสมบูรณ์
3. ผู้ใช้บริการในแต่ละรายต้องการค่าของ  $E_b / I_0$  ค่าเดียวกัน

ดังนั้นสัญญาณแทรกสอดทั้งหมดจะหาได้จาก

$$\begin{aligned}
\text{สัญญาณแทรกสอดทั้งหมด} &= \text{สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์} + \text{สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น} \\
&\quad + \text{สัญญาณรบกวนเชิงความร้อน} \quad (3.45)
\end{aligned}$$

ในเรอของพารามิเตอร์ CDMA จะได้

$$I_{total} = M(E_0 R) + fM(E_b R) + N \quad (3.46)$$

เมื่อ  $M$  = จำนวนผู้บริการในเซกเตอร์เดียวกัน

$E_b$  = พลังงานต่อบิตของสัญญาณ

$R$  = อัตราข้อมูล

$N$  = กำลังของสัญญาณรบกวนเชิงความร้อน (Thermal Noise)

$f$  = อัตราส่วนของการแทรกสอดจากเซลล์อื่นต่อการแทรกสอดที่เกิดขึ้นที่เซกเตอร์นั้น

ดังนั้นจากสมการที่ (3.46) สามารถเขียนได้เป็น

$$I_{total} = ME_b R + (1 + f) + N \quad (3.47)$$

โดยที่เงื่อนไขของการไม่ติดขัดจะเป็น

$$I_0 W \geq ME_b R + (1 + f) + NW \quad (3.48)$$

ซึ่งจะเป็นไปตาม

$$M \leq (1 + f) \left( \frac{W / R}{E_b / I_0} \right) (1 - \eta) \quad (3.49)$$

โดยที่  $\eta = N_0 / I_0 = 0.1$

ในความเป็นจริงข้อสมมติฐานที่กล่าวไว้เบื้องต้นนั้นจะไม่เป็นจริงเนื่องจาก

1. จำนวนของการเรียกจะเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซองด้วยค่าเฉลี่ย  $\lambda / \mu$
2. เนื่องจากค่า Voice Activity ผู้ใช้บริการแต่ละรายจะเข้าในระบบด้วยความน่าจะเป็น  $\rho$  และออกจากระบบด้วยความน่าจะเป็น  $(1 - \rho)$
3. ผู้ใช้บริการแต่ละรายมีความต้องการ  $E_b / I_0$  ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่าตามสถานะของสภาพแวดล้อมในการเคลื่อนที่เพื่อที่จะยังคงอัตราความผิดพลาดต่อเฟรมที่ยอมรับได้

ดังนั้นสมมติฐานทั้งสามข้อนี้จะได้เงื่อนไขการไม่ติดขัดเป็น

$$I_0 W \geq \sum_{i=1}^k v_i E_{bi} R + \sum_j^{othercells} \sum_{i=1}^k v_i(j) E_{bi}(j) R + N_0 W \quad (3.50)$$

เมื่อ  $k$  เป็นจำนวนผู้ใช้บริการต่อเซกเตอร์ซึ่งเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซองที่มีค่าเฉลี่ย  $\lambda / \mu$  และ  $v$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบไบนารีที่มีค่า 0 กับ 1 ซึ่งแสดงถึง Voice Activity ด้วย  $P(v = 1) = P$  ดังนั้นเราจะได้สมการเงื่อนไขของการไม่ติดขัดเป็น

$$Z = \sum_{i=1}^k v_i \varepsilon_i + \sum_j^{othercells} \sum_{i=1}^k v_i(j) \varepsilon_i(j) \leq \frac{W}{R} (1 - \eta) \quad (3.51)$$

เพราะฉะนั้นความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับระบบ CDMA จะเป็น

$$P_{blocking} = P[Z > W / R(1 - \eta)] \quad (3.52)$$

จากสมการที่ (3.52) เราสามารถที่จะประมาณค่าที่แสดงในเทอมของ  $\lambda / \mu$  ซึ่งการประมาณแบบนี้จะกำหนดโดย

$$\frac{\lambda}{\mu} = \frac{(W / R)(1-\eta)}{(E_b / I_0)v(1+f)} F(B, \sigma) \quad (3.53)$$

เมื่อ  $v$  = แฟกเตอร์ของ Voice Activity

$$F(B, \sigma) = \frac{1}{\alpha} \left[ 1 + \frac{\alpha^3 B}{2} \left( 1 - \sqrt{1 + \frac{4}{\alpha^3 B}} \right) \right] \quad \text{ที่ซึ่ง}$$

$$\alpha = \exp(\beta^2 \sigma^2 / 2)$$

$$\beta = 0.2303$$

$$\sigma = \text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการควบคุมกำลัง}$$

$$B = \frac{(E_b / I_0)[Q^{-1}(P_{\text{blocking}})]^2}{(W / R)(1-\eta)}$$

## บทที่ 4

### การวิเคราะห์ความจุของระบบCDMA สำหรับการสื่อสารด้านเสียง

#### 4.1 แบบจำลองของระบบและการวิเคราะห์

เมื่อพิจารณาด้านช่องสัญญาณการเชื่อมโยงไปขากลับ (Reverse Line) แบบเซลล์เดี่ยว (Single Cell) และแบบหลายเซลล์ (Multiple Cells) ของแบบจำลองการบริการด้านเสียง (Voice Service)

โดยให้  $N_v$  เป็นกลุ่มของผู้ใช้บริการด้านเสียง กำหนดให้กำลังที่รับได้ที่สถานีฐานคือ  $S_{v,i}$  สำหรับผู้ใช้บริการในกลุ่มการบริการด้านเสียงคนที่  $i$  และกำหนดให้อัตราการส่งข้อมูล  $R_v$  สำหรับกลุ่มผู้ใช้บริการด้านเสียง

สำหรับผู้ใช้บริการด้านเสียงคนที่  $i$  ได้รับ  $\frac{E_b}{N_o}$  มีค่าเท่ากับ

$$\left( \frac{E_b}{N_o} \right)_{v,i} = \frac{W}{R_v} \frac{S_{v,i}}{\sum_{k=1, k \neq i}^{N_v} \alpha S_{v,k} + I + \eta_o W} \quad (4.1)$$

เมื่อ  $W$  คือ แบนด์วิธการแผ่กว้างทางสเปกตรัมของระบบ (Spreading Bandwidth)

$\alpha$  คือ แฟกเตอร์ของเสียงพูดของผู้ใช้บริการ (Voice Activity Factor)

$I$  คือ สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น ๆ (Other Cell Interference)

$\eta_o$  คือ ความหนาแน่นของสัญญาณรบกวนหลังจากทางสเปกตรัม (Background Noise Power Spectral Density)

เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ จึงได้ตั้งข้อสมมติฐานไว้ 3 ข้อดังนี้

1. สถานีฐานแต่ละสถานีฐาน ถูกสมมติให้ใช้สายอากาศแบบ 3 ทิศทางในอุดมคติ (Three Ideal Direction Antennas)
2. การลดทอนเนื่องจากการสูญเสียตามระยะทาง (Path Factor) ระหว่างผู้ใช้บริการและสถานีฐานมีค่าเป็น  $10^{\frac{\zeta}{10}} r^{-4}$

เมื่อ  $r$  คือ ระยะทางจากผู้ใช้บริการถึงสถานีฐาน

$\zeta$  คือ ตัวแปรสุ่มแบบเกาส์ ที่มีค่าเฉลี่ยเท่า 0 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

( $\sigma$ ) เท่ากับ 8 dB

และสมมติให้ การจางหายเร็วแบบเรย์ลี (Fast Fading) ไม่มีผลต่อระดับความแรงของสัญญาณ

3. มีการควบคุมกำลังสัญญาณแบบสมบูรณ์ (Perfect Power Control) เนื่องจากการควบคุมกำลังสัญญาณแบบสมบูรณ์ ดังนั้น  $S_{v,k} = S_v$  สำหรับทุก  $k$  และสัญญาณรบกวนหลังจาก (Background noise :  $\eta_o$ ) มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับสัญญาณแทรกสอด ดังนั้นสมการ (4.1) สามารถประมาณค่าได้ คือ

$$\left( \frac{E_b}{N_o} \right)_v \approx \frac{W}{R_v} \frac{S_v}{\alpha(N_v - 1)S_v + I} \quad (4.2)$$

สำหรับกรณีใด ๆ แล้ว  $N_v \neq 0$  จากสมการ (4.2) ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสัญญาณที่รับได้ ทำให้  $\left( \frac{E_b}{N_o} \right)_v \neq 0$

$$\{(SIR)^{-1}_v + \alpha\} S_v = 0 \quad (4.3)$$

เมื่อ

$$(SIR)_v = \frac{R_v}{W} \left( \frac{E_b}{N_o} \right)_v \quad (4.4)$$

เพื่อให้สอดคล้องกับคุณภาพที่ต้องการ ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการบริการด้านเสียง สำหรับผู้ใช้บริการทุกคนในกลุ่ม นั่นคือ  $\frac{E_b}{N_o}$  ที่รับได้ควรมีค่ามากกว่า  $\frac{E_b}{N_o}$  ที่ต้องการ

$$\left( \frac{E_b}{N_o} \right)_v \geq \left( \frac{E_b}{N_o} \right)_{v_{req}} \quad (4.5)$$

เพื่อให้สอดคล้องกับอัตราการส่งข้อมูลที่ต้องการสำหรับผู้ใช้บริการทุกคนในกลุ่ม ดังนั้น

$$R_v \geq R_{v_{req}} \quad (4.6)$$

จากสมการ (4.5) และ (4.6) ค่า  $\frac{E_b}{N_o}$  ที่รับได้ ในสมการ (4.2) ถูกจำกัดค่าดังนี้

$$\left( \frac{E_b}{N_o} \right)_{v_{req}} \leq \left( \frac{E_b}{N_o} \right)_v \leq \frac{W}{R_{v_{req}}} \frac{S_v}{\alpha(N_v - 1)S_v + I} \quad (4.7)$$

จากสมการนี้ จำนวนของผู้ใช้บริการ  $N_v$  ที่เป็น Upper Bounded มีค่าดังนี้

$$\alpha(N_v - 1)S_v + I \leq \frac{W}{R_{v_{req}}} \left( \frac{E_b}{N_o} \right)_{v_{req}}^{-1} S_v = (SIR)^{-1}_{v_{req}} S_v \quad (4.8)$$

การประยุกต์ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสัญญาณที่รับได้ของกลุ่มผู้ใช้บริการ ในสมการ (4.3)-(4.8) เราสามารถแสดงที่มาของความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของผู้ใช้บริการและเอสไออาที่ต้องการหรือเอสไออาเริ่มต้นที่สถานีฐานสามารถยอมรับได้ ได้ดังนี้

$$\alpha \frac{N_v}{(SIR)^{-1}_{v_{req}} + \alpha} \leq 1 - z \quad (4.9)$$

เมื่อ

$$z = \frac{I}{S_v} \frac{1}{(SIR)^{-1}_{v_{req}} + \alpha} \quad (4.10)$$

และ  $z$  เป็นตัวแปรสู่แบบเกาส์เซียน ซึ่งเป็นผลรวมของกำลังของสัญญาณแทรกสอด

#### 4.2 ความจุของระบบCDMAแบบเซลล์เดียว (Single Cell CDMA Capacity)

สำหรับระบบแบบเซลล์เดียว สัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น ๆ จะไม่มีผลต่อความจุ (Capacity) และเทอมของ  $z$  ในสมการ (4.9) จะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นสมการ (4.10) สามารถเขียนได้ใหม่สำหรับกรณีระบบแบบเซลล์เดียว (Single Cell)

$$\gamma_v N_v \leq 1 \quad (4.11)$$

เมื่อ

$$\gamma_v = \frac{\alpha}{(SIR)^{-1}_{v_{req}} + \alpha} \quad (4.12)$$

$N_v$  แสดงจำนวนของผู้ใช้บริการที่สามารถรองรับได้สำหรับกลุ่มบริการด้านเสียงใน 1 เซกเตอร์ ในสมการที่ (4.11)  $\gamma_v$  คือ จำนวนทรัพยากรที่ใช้สำหรับผู้ใช้บริการด้านเสียง 1 คน และสมการที่ (4.11) หมายความว่า ทรัพยากรที่ถูกใช้โดยผู้ใช้บริการจะไม่เกินกว่าทรัพยากรของระบบที่มีอยู่

#### ตารางที่ 4.1 แสดงพารามิเตอร์ของระบบCDMAที่รองรับการบริการด้านเสียง IS-95

Item	Symbol	Value
Bandwidth	W	1.25 MHz
Voice activity factor	$\alpha$	0.375
Information data rate for the voice group	$R_v$	9.6 Kbps
Quality requirement for the data group	$\left( \frac{E_b}{N_o} \right)_{v_{req}}$	5(7 dB)

### ความรู้เพิ่มเติมสำหรับระบบCDMAในการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 3

ในยุคถัดไปของการสื่อสารไร้สายจะมีการปรับเปลี่ยนมาตรฐาน IS-95 ไปสู่รูปแบบของการแพร่กระจายชนิดแถบความถี่กว้าง ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับข้อกำหนดต่าง ๆ นั้นจะขึ้นอยู่กับผู้ให้บริการว่าจะเลือกรูปแบบใด แต่ในที่นี้จะขอเสนอลักษณะทั่วไปที่ได้รับการยอมรับกันแล้วว่าจะใช้ในการสื่อสารไร้สายยุคที่สาม ดังแสดงในตารางที่ 4.2 คุณสมบัติหลัก ๆ ของการสื่อสารไร้สายในยุคที่สามมีดังนี้

1. อัตราข้อมูลของผู้ใช้บริการจะสูงถึง 2 Mbps
2. สามารถให้บริการผู้ใช้บริการที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงในสภาพแวดล้อมแบบไมโครเซลล์และสามารถให้บริการอัตราข้อมูลกับเครื่องลูกข่ายในสภาพแวดล้อมแบบไมโครและพิโคเซลล์
3. สามารถให้บริการทางด้านเสียงที่มีคุณภาพสูง
4. มีความจุทางด้านรีเวอร์สลิงก์สูงโดยการใช้วงจรกำจัดสัญญาณแทรกสอด

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดของCDMAชนิดแถบความถี่กว้าง (3 G)

ความถี่คลื่นพาห์	ย่าน 2,000 MHz
แถบความถี่	1.25/5/10/20 MHz
อัตราชิป (Processing gain)	1.024/4.096/8.192/16.384 Mcps
อัตราข้อมูลผู้ใช้	2.4 Kbps ~ 2 Mbps
การควบคุมกำลังส่ง	ควบคุมโดยอัตราส่วนของกำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณแทรกสอด โดยใช้สัญญาณนำร่อง
การแก้การลดทอน	เครื่องรับแบบเรค และคอนโวลูชันโคดที่อัตรา 1/3
การเพิ่มความจุ	วงจรกำจัดสัญญาณแทรกสอด

### 4.3 ความจุของระบบCDMAแบบหลายเซลล์ (Multiple Cell CDMA Capacity)

ในระบบแบบหลายเซลล์ ผู้ใช้บริการในเซลล์อื่น ๆ จะกำเนิดสัญญาณแทรกสอดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระบบแบบเซลล์เดียว คือผู้ใช้บริการคนอื่น ๆ ภายในเซลล์เดียวกันจะกำเนิดสัญญาณแทรกสอดต่อผู้ใช้บริการคนหนึ่ง ๆ ภายในเซลล์นั้น สำหรับในระบบแบบหลายเซลล์ผลกระทบของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น ๆ ต่อความจุของระบบถูกรวมอยู่ในเทอม ของ  $z$  ใน

สมการ (4.9) ดังนั้นผู้ใช้บริการคนหนึ่ง ๆ ที่กำลังใช้งานอยู่ จะมีระดับสัญญาณแทรกสอดสูงมาก ซึ่งมาจากผู้ใช้บริการรายอื่นทั้งที่อยู่ในเซลล์เดียวกันหรือเซลล์อื่น ๆ

เนื่องจากสัญญาณแทรกสอดมีผลโดยตรงต่อความจุของระบบ กล่าวคือเมื่อสัญญาณแทรกสอดน้อยจะส่งผลให้ความจุของระบบเพิ่มสูงขึ้น สัญญาณแทรกสอดนี้จะพิจารณาจากสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ของตัวเอง (Intracell Interference) และสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น ๆ ที่นอกเหนือจากเซลล์ของตัวเอง (Intercell Iterference)

สมมติให้ผู้ใช้บริการ  $N$  มีการกระจายในเซลล์และ  $N_v$  คือจำนวนของผู้บริการที่ใช้ที่แอกทีฟ (Active Users) ในหนึ่งเซกเตอร์และถ้าสมมติให้เซลล์อยู่ติดกัน ดังนั้นความหนาแน่นของผู้ใช้บริการด้านเสียง (Voice User Density) คือ

$$\rho_v = \frac{N}{\left(\frac{3\sqrt{3}}{2}\right)} = \frac{2N}{3\sqrt{3}} \quad (4.13)$$

เนื่องจากหนึ่งเซลล์มีสามเซกเตอร์ ดังนั้น  $N_v = \frac{N}{3}$  และนั่นคือ

$$\rho_v = \frac{2N_v}{\sqrt{3}} \quad (4.14)$$

พิจารณา Intra-sector Interference

ที่สถานีฐานจะได้รับสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้บริการในเซกเตอร์เดียวกัน (Intrasector Interference) ดังนี้

$$I_{intra} = (N_v - 1)S_v \quad (4.15)$$

พิจารณา Inter-sector Interference

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวน จะสมมติให้มีการกระจายตัวของผู้ใช้บริการเป็นแบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution) ในเขตพื้นที่ให้บริการ โดยใช้ระยะทางสั้นที่สุดเพื่อให้เกิดการลดทอนน้อยที่สุดในเซลล์หลัก (Home Cell) และ Spatial Whiteness สำหรับสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น ๆ ที่มีการบริการแบบมัลติมีเดีย ก็ใช้การจำลองแบบตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียน (Gaussian Random Variable) ดังนี้

$$I_{inter} = \iint (\phi S_v \rho_v) \left(\frac{r_m}{r_o}\right)^4 10^{(\xi_o - \xi_m)/10} \varphi\left(\frac{\pi}{2} \xi_o - \xi_m, \frac{r_o}{r_m}\right) dA \quad (4.16)$$



เมื่อ  $\phi$  คือ Voice Activity Variable ที่เป็นตัวแปรสุ่มแบบไบโนเมียล (Binomial Random Variable) ที่มีค่าเฉลี่ยเป็น Voice Activity Factor:  $\alpha$  ส่วน  $r_o$  คือ ระยะทางจากผู้ใช้บริการคนหนึ่งถึงเซลล์อื่นถึงสถานีฐานที่สนใจพิจารณา  $r_m$  คือระยะทางจากผู้ใช้บริการถึงสถานีฐานในเซลล์นั้น ๆ และ  $m$  คือ ตัวชี้บอกสถานีฐาน (BS Index)

$$\phi = \begin{cases} 1, \rightarrow \text{Probability} \alpha \\ 0, \rightarrow \text{Probability} 1 - \alpha \end{cases} \quad (4.17)$$

และ

$$\varphi\left(\xi_o - \xi_m \cdot \frac{r_o}{r_m}\right) = \begin{cases} 1, \rightarrow \text{if} \left(\frac{r_m}{r_o}\right)^4 10^{(\xi_o - \xi_m)/10} \leq 1 \\ 0, \rightarrow \text{Otherwise} \end{cases} \quad (4.18)$$

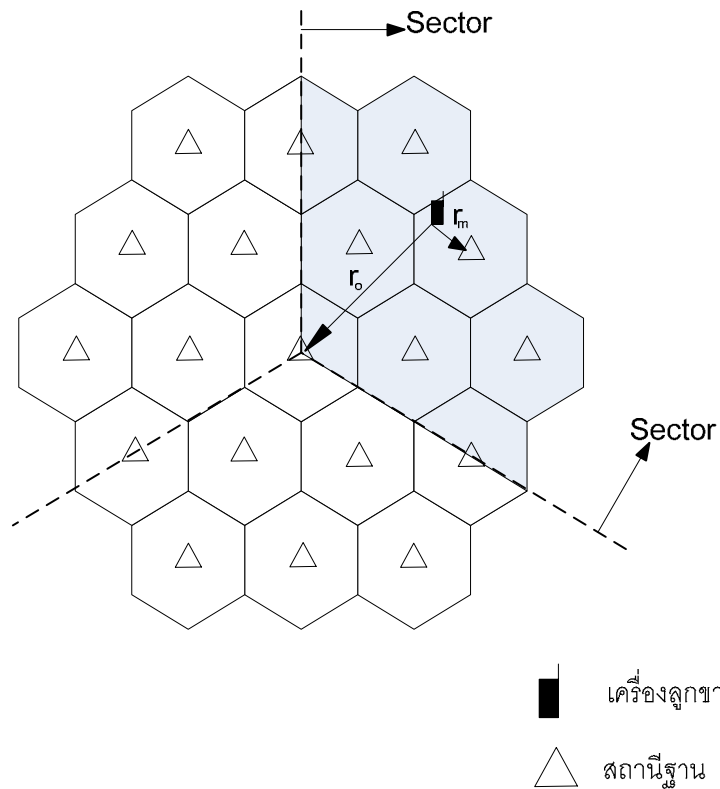
ดังนั้น Signal-to-Interference Ratio ที่สถานีฐานรับได้มีค่าเป็น

$$SIR = \frac{S_v}{\alpha(I_{intra} + I_{inter})} \quad (4.19)$$

ดังนั้นเงื่อนไขที่ใช้พิจารณาเมื่อผู้ใช้บริการมีการร้องขอเพื่อเข้าใช้งานในระบบคือ

$$SIR > SIR_{req} \quad (4.20)$$

จากสมการที่ (4.20) ถ้า  $SIR > SIR_{req}$  ระบบจะยอมรับผู้ใช้บริการที่มีการร้องขอ (Accepted) เพื่อใช้งานในระบบ CDMA นอกเหนือจากเงื่อนไขดังสมการที่ (4.20) ระบบจะทำการปฏิเสธการร้องขอ (Rejected) ของผู้ใช้บริการเพื่อเข้าใช้งานในระบบ CDMA หรือเกิดการบล็อก (Call Blocking)



รูปที่ 4.1 แบบจำลองของโครงข่ายเซลลูลาร์

เมื่อพิจารณาพื้นที่ให้บริการ 2 เซลล์ (เซลล์ที่กำลังสนใจพิจารณากับเซลล์ที่มีผู้ใช้บริการในเซลล์นั้น ๆ) ดังรูปที่ 4.1 ค่าการอินทิเกรตในสมการ (4.16) บนพื้นที่ที่แรเงาในรูปที่ 4.1 และไม่มีจุดซ้อนทับกันของผู้ใช้บริการบนจุดสเปซ (Spatial Point) เดียวกัน ค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น ๆ  $I$  หาได้จาก

$$\begin{aligned} E(I) &\leq 0.247 N_v S_v \\ \text{var}(I) &\leq 0.078 N_v S_v^2 \end{aligned} \quad (4.21)$$

ใช้สมการ (4.10) และ (4.21) ที่เป็นคุณลักษณะของ  $z$  และ  $z$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียน ซึ่งเป็นผลรวมของกำลังของสัญญาณแทรกสอด ที่มีค่าเฉลี่ย และค่าความแปรปรวน คือ

$$\begin{aligned} E(z) &\leq 0.659 \gamma_v N_v \\ \text{var}(z) &\leq 0.555 \gamma_v^2 N_v \end{aligned} \quad (4.22)$$

สำหรับความจุของระบบ CDMA แบบหลายเซลล์ จะใช้สมการที่ (4.9) ที่เป็นผลรวมของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น ๆ

$$\gamma_v N_v \leq 1 - z \quad (4.23)$$

เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ (4.11) กับ (4.22) เราทราบว่าทรัพยากรของระบบทั้งหมดจะมีค่าลดลงตามค่า  $z$  ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น ๆ สมมติให้สมรรถนะของระบบเป็นไปตามที่ต้องการ ดังนั้น  $P$  คือกำลังต่ำสุดที่ระบบต้องการ ซึ่งโดยทั่วไปเป็น 99 % ดังนั้น

$$P = \Pr (\gamma_v N_v \leq 1-z) \geq 0.99 \quad (4.23)$$

ตัวแปรสุ่ม  $z$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียน ที่มีค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนตามสมการ (4.22) ดังนั้นในสมการที่ (4.24) สามารถคำนวณได้ง่ายขึ้นดังนี้

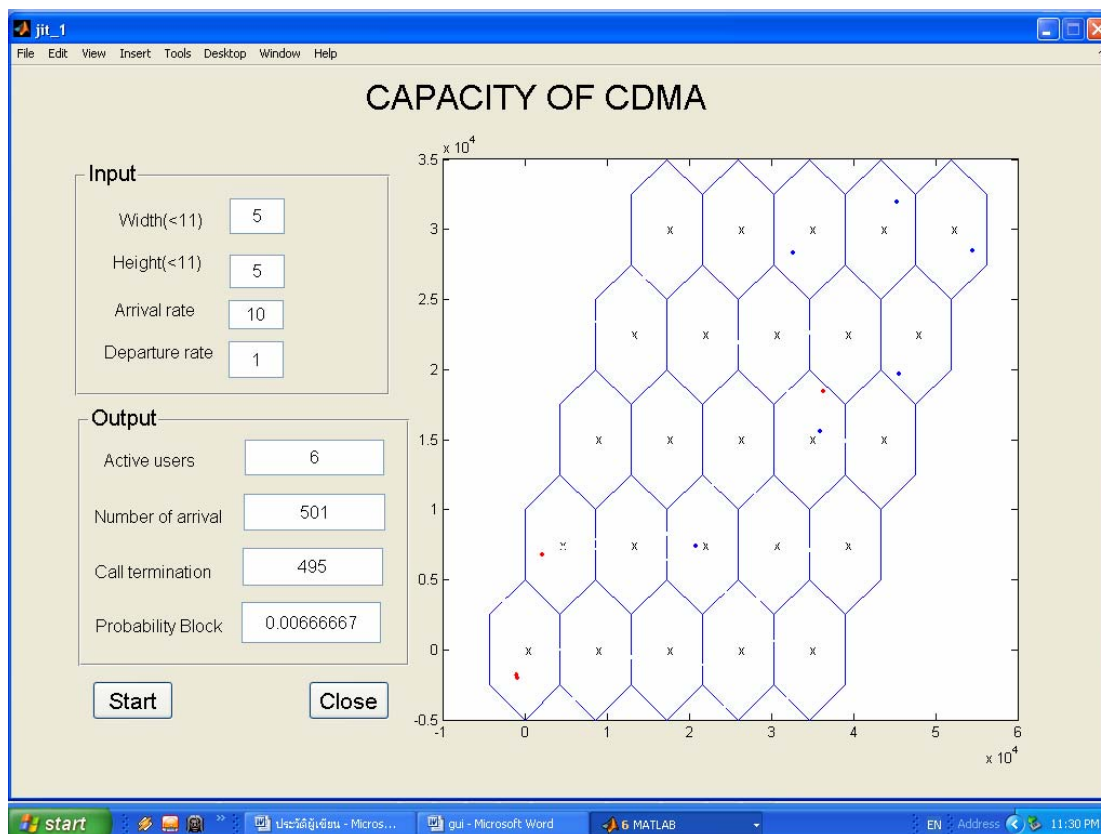
$$\gamma_v N_v + E(z) + 2.33\sqrt{\text{var}(z)} \leq 1 \quad (4.25)$$

เมื่อ  $E(z)$  และ  $\text{var}(z)$  เป็นฟังก์ชันของ  $N_v$  ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบระบบแบบเซลล์เดียว (Single Cell) ทรัพยากรที่ใช้โดยผู้ใช้บริการด้านเสียงหนึ่งคนจะมีค่ามากกว่า  $\gamma_v$  สำหรับผู้ใช้บริการด้านเสียงในระบบแบบเซลล์เดียว

## บทที่ 5

### การออกแบบและการใช้งานโปรแกรม

#### 5.1 ส่วนของ Graphic User Interface



รูปที่ 5.1 แสดงหน้าต่างการทำงานของโปรแกรม

จากรูปที่ 5.1 จะได้อธิบายถึงความหมายของส่วนต่าง ๆ ดังนี้

ส่วนที่เป็นอินพุต(ต้องป้อนค่า)

1. Width หมายถึงจำนวนเซลล์ที่เป็นจำนวนแถวที่ไม่เกิน 11 แถว
2. Height หมายถึงจำนวนเซลล์ที่เป็นจำนวนหลักที่ไม่เกิน 11 หลัก
3. Arrival rate หมายถึงอัตราการเรียกเข้าเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้งานในระบบซีดีเอ็มเอ
4. Departure rate หมายถึงอัตราเฉลี่ยผู้ใช้บริการด้านเสียงที่ออกจากระบบหรือเลิกใช้งานในระบบซีดีเอ็มเอ

ส่วนที่เป็นเอาต์พุต (แสดงค่าจากการประมวลผล)

5. Active users หมายถึงจำนวนผู้ใช้บริการด้านเสียงจริงในระบบขณะเวลาหนึ่งๆ

6. Number of arrival หมายถึงจำนวนผู้ใช้บริการด้านเสียงที่ใช้งานในระบบซีดีเอ็มเอ
  7. Probability Block หมายถึงความน่าจะเป็นที่จะเกิดการบล็อกสำหรับผู้ร้องขอใช้บริการรายหนึ่ง ๆ
  8. ส่วนที่แสดงรูปร่างผืนเป็นส่วนที่จำลองรูปแบบของเซลล์ ซึ่งสามารถกำหนดจำนวนเซลล์ได้ตามต้องการจากการป้อนค่าในส่วนของ Width และ Height และจากรูปที่ 5.1 จะสังเกตจุดสีแดงและสีน้ำเงินที่ปรากฏในเซลล์ ซึ่งอธิบายได้ดังนี้
    - a. จุดสีแดง หมายถึงจุดหรือตำแหน่งของผู้ใช้บริการที่เกิดการบล็อก
    - b. จุดสีน้ำเงิน หมายถึงจุดหรือตำแหน่งของผู้ใช้บริการในระบบ ณ เวลาหนึ่ง ๆ
- ส่วนที่เป็นการควบคุมการทำงานของโปรแกรม
9. ปุ่ม Start หมายถึงการเริ่มใช้งานโปรแกรมใหม่
  10. ปุ่ม Close หมายถึงปิดการทำงานของโปรแกรม

ในส่วนของ Graphic จะประกอบไปด้วย ส่วนของ หน้าต่างแสดงผล, เมนูบาร์, อินพุต, เอาท์พุต, และ ปุ่มคำสั่ง ซึ่งมีรายละเอียดในการสร้างส่วนต่างๆดังนี้คือ

#### 5.1.1. ส่วนหน้าต่างแสดงผล

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 5.1.1.1 พิมพ์ Guide ที่ Command Window แล้วกด Enter
- 5.1.1.2 จะปรากฏหน้าต่าง Guide Quick Start ขึ้นมา ให้เลือก Black GUI(Default) ที่อยู่ใน Create New GUI แล้วกด OK จากนั้นให้ตั้งชื่อ file เช่น jit\_1.fig เป็นต้น
- 5.1.1.3 คลิกเลือก Axes ที่อยู่ทางด้านซ้ายมือของหน้าต่าง แล้วนำมาวางที่พื้นที่ว่าง
- 5.1.1.4 จากนั้นดับเบิลคลิกที่ Axes ที่เลือกมา จะมีหน้าต่าง Property Inspector ขึ้นมาแล้ว ตั้งคุณสมบัติในส่วน Tag ให้เป็นชื่อที่ต้องการ แต่ในที่นี้ให้ชื่อว่า axes1 แล้วกด Enter
- 5.1.1.5 ตั้งค่า XMinorGrid และ XMinorTick ให้เป็น off
- 5.1.1.6 ตั้งค่า XTickLabel ให้ว่างเปล่า
- 5.1.1.7 ตั้งค่า YMinorGrid และ YMinorTick ให้เป็น off
- 5.1.1.8 ตั้งค่า YTickLabel ให้ว่างเปล่า
- 5.1.1.9 จัดขนาดของ Axes ให้เหมาะสม
- 5.1.1.10 คลิกขวาที่พื้นที่ว่าง แล้วเลือกที่ M-file Editor
- 5.1.1.11 จะได้ Code ขึ้นมาอัตโนมัติ

### 5.1.2. ส่วนเมนูบาร์

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

5.1.2.1 ดับเบิลคลิกที่พื้นที่ว่างจะมีหน้าต่าง Property Inspector ขึ้นมาแล้ว ตั้งคุณสมบัติในส่วน MenuBar ให้เป็น Figure

5.1.2.2 แล้วกด Enter

### 5.1.3. ส่วนอินพุต

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

5.1.3.1 พิมพ์ Guide ที่ Command Window แล้วกด Enter

5.1.3.2 จะปรากฏหน้าต่าง Guide Quick Start ขึ้นมา ให้เลือกชื่อ File (Open Existing GUID) ที่ได้ตั้งไว้ในขั้นตอนที่ 1.2 แล้วกด OK

5.1.3.3 คลิกเลือก Edit Text ที่อยู่ทางด้านซ้ายมือของหน้าต่าง แล้วนำมาวางที่พื้นที่ว่าง โดยนำมาวางทั้งหมด 4 อัน

5.1.3.4 จากนั้นดับเบิลคลิกที่ Edit Text ที่เลือกมา จะมีหน้าต่าง Property Inspector ขึ้นมา แล้วตั้งคุณสมบัติในส่วน Tag โดยอันแรกให้ตั้งชื่อว่า row\_1 อันที่สองให้ตั้งชื่อว่า column\_1 อันที่สามให้ตั้งชื่อว่า lamda\_1 อันที่สี่ให้ตั้งชื่อว่า mew\_1

5.1.3.5 ตั้งค่า String ของ Edit Text ทุกอันให้ว่างเปล่า

5.1.3.6 จัดขนาดของ Edit Text ให้เหมาะสม

5.1.3.7 คลิกขวาที่ Edit Text แต่ละอัน แล้วเลือกที่ View Callbacks แล้วเลือก CreateFcn

5.1.3.8 จะได้ Code ขึ้นมาอัตโนมัติ

5.1.3.9 สร้างคำสั่งใน M-file ดังนี้ row=str2double(get(handles.row\_1,'string'));

column=str2double(get(handles.column\_1,'string'));

lamda=str2double(get(handles.lamda\_1,'string'));

mew=str2double(get(handles.mew\_1,'string'));

เพื่อรับค่าของ Input ในส่วนที่เป็น Width, Height, Arrival rate, Departure rate ให้นำ Code ทั้งสี่บรรทัดดังกล่าว มาวางไว้ต่อจาก บรรทัดที่ชื่อว่า

function pushbutton1\_Callback(hObject, eventdata, handles)

#### 5.1.4. ส่วนเอาต์พุต

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

5.1.4.1 พิมพ์ Guide ที่ Command Window แล้วกด Enter

5.1.4.2 จะปรากฏหน้าต่าง Guide Quick Start ขึ้นมา ให้เลือกชื่อ File (Open Existing GUI) ที่ได้ตั้งไว้ในขั้นตอนที่ 1.2 แล้วกด OK

5.1.4.3 คลิกเลือก Edit Text ที่อยู่ทางด้านซ้ายมือของหน้าต่าง แล้วนำมาวางที่พื้นที่ว่าง โดยนำมาวางทั้งหมด 4 อัน

5.1.4.4 จากนั้นดับเบิลคลิกที่ Edit Text ที่เลือกมา จะมีหน้าต่าง Property Inspector ขึ้นมา แล้วตั้งคุณสมบัติในส่วน Tag โดยอันแรกให้ตั้งชื่อว่า NumCh อันที่สองให้ตั้งชื่อว่า User\_in อันที่สามให้ตั้งชื่อว่า User\_out อันที่สี่ให้ตั้งชื่อว่า PropB และตั้งค่า String ของ Edit Text ทุกอันให้ว่างเปล่า

5.1.4.5 จัดขนาดของ Edit Text ให้เหมาะสม

5.1.4.6 คลิกขวาที่ Edit Text แต่ละอัน แล้วเลือกที่ View Callbacks แล้วเลือก CreateFcn

5.1.4.7 จะได้ Code ขึ้นมาอัตโนมัติ

5.1.4.8 สร้างคำสั่งใน M-file ดังนี้ `set(handles.NumCh,'string',NumberCh(z));`

`set(handles.User_in,'string',position);`

`set(handles.User_out,'string',position_2);`

`set(handles.PropB,'string',PropB);`

เพื่อรับค่าของเอาต์พุต ในส่วนที่เป็น Active users, Number of arrival, Call arrival, Probability Block

#### 5.1.5. ส่วนปุ่มคำสั่ง

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

5.1.5.1 พิมพ์ Guide ที่ Command Window แล้วกด Enter

5.1.5.2 จะปรากฏหน้าต่าง Guide Quick Start ขึ้นมา ให้เลือกชื่อ File (Open Existing GUI) ที่ได้ตั้งไว้ในขั้นตอนที่ 1.2 แล้วกด OK

5.1.5.3 คลิกเลือก Push Button ที่อยู่ทางด้านซ้ายมือของหน้าต่าง แล้วนำมาวางที่พื้นที่ว่าง โดยนำมาวางทั้งหมด 2 อัน

5.1.5.4 จากนั้นดับเบิลคลิกที่ Push Button ที่เลือกมา จะมีหน้าต่าง Property Inspector ขึ้นมา แล้วตั้งคุณสมบัติในส่วน Tag โดยอันแรกให้ตั้งชื่อว่า PushBoton1 อันที่สองให้ตั้งชื่อว่า End และตั้งค่า String ของ Push Button อันแรกให้ชื่อว่า Start และอันที่สองให้ชื่อว่า Close

5.1.5.5 จัดขนาดของ Push Button ให้เหมาะสม

5.1.5.6 คลิกขวาที่ Push Button แต่ละอัน แล้วเลือกที่ View Callbacks แล้วเลือก CreateFcn

5.1.5.7 จะได้ Code ขึ้นมาอัตโนมัติ

5.1.5.8 เขียนคำสั่ง end ต่อจาก function End\_Callback(hObject, eventdata, handles); ใน M-file

5.1.5.9 Code ของโปรแกรมที่จะใช้ในการ run ทั้งหมดให้นำมาวางไว้ต่อจาก function End\_Callback (hObject, eventdata, handles)

## 5.1.6. ส่วนการตกแต่งโปรแกรม

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

5.1.6.1 พิมพ์ Guide ที่ Command Window แล้วกด Enter

5.1.6.2 จะปรากฏหน้าต่าง Guide Quick Start ขึ้นมา ให้เลือกชื่อ File (Open Existing GUI) ที่ได้ตั้งไว้ในขั้นตอนที่ 1.2 แล้วกด OK

5.1.6.3 คลิกเลือก Panel ที่อยู่ทางด้านซ้ายมือของหน้าต่าง แล้วนำมาวางที่พื้นที่ว่าง โดยนำมาวางทั้งหมด 2 อัน

5.1.6.4 จากนั้นดับเบิลคลิกที่ Panel ที่เลือกมา จะมีหน้าต่าง Property Inspector ขึ้นมา แล้วตั้งคุณสมบัติในส่วน String โดย อันแรกให้ชื่อว่า Input และอันที่สองให้ชื่อว่า Output

5.1.6.5 นำ Edit Text ในส่วนของอินพุตทั้งหมด นำมาวางไว้ที่ Panel อันแรก จากนั้นก็ทำการตกแต่งให้เรียบร้อย

5.1.6.6 นำ Edit Text ในส่วนของเอาต์พุตทั้งหมด นำมาวางไว้ที่ Panel อันที่สอง จากนั้นก็ทำการตกแต่งให้เรียบร้อย

5.1.6.7 ทำการปรับเปลี่ยนขนาดของตัวอักษรได้โดยการดับเบิลคลิกที่ Edit Text, Panel แต่ละอัน จะมีหน้าต่าง Property Inspector ขึ้นมา แล้วตั้งคุณสมบัติในส่วน FontSize ให้เป็นไปตามที่ต้องการ

5.1.6.8 คลิกเลือก Static Text ที่อยู่ทางด้านซ้ายมือของหน้าต่าง แล้วนำมาวางที่พื้นที่ว่าง โดยนำมาวางทั้งหมด 9 อัน จากนั้น ดับเบิลคลิกที่ Static Text ที่เลือกมา จะมีหน้าต่าง Property Inspector ขึ้นมาแล้วตั้งคุณสมบัติ ในส่วน String โดย อันแรกให้ชื่อว่า Width และ อันที่สองให้ชื่อว่า Height อันที่สามให้ชื่อว่า Arrival Rate อันที่สี่ให้ชื่อว่า Departure Rate อันที่ห้าให้ชื่อว่า Actives Users อันที่หกให้ชื่อว่า Number of Arrival อันที่เจ็ดให้ชื่อว่า Call Termination อันที่แปดให้ชื่อว่า Probability Block อันที่เก้าให้ชื่อว่า CAPACITY OF CDMA



### 5.1.6.9 จัดทั้งหมดให้เหมาะสมและสวยงาม

## 5.2 ส่วนของ การแสดงรูปภาพที่อยู่ใน Axes

### 5.2.1. ส่วนของรังผึ้ง

พิมพ์ Code ดังต่อไปนี้

```
l=row;
j=column;
axes(handles.axes1);
for e=0 : l-1
for i=0 : j-1
x3=x+(i*2)*(sqrt(3)*a/2)+(e)*(sqrt(3)*a/2);y3=y+e*(3*a/2);
X3=a*sin(A)+x3;
Y3=a*cos(A)+y3;
plot(X3,Y3);
text(x+(i*2)*(sqrt(3)*a/2)+(e)*(sqrt(3)*a/2),y+e*(3*a/2),'x');
hold on;
```

### 5.2.2. ส่วนของการพล็อตจุดที่ผู้ใช้บริการที่เข้าใช้งานในระบบ

พิมพ์ Code ดังต่อไปนี้

#### 5.2.2.1 สร้าง Function ต่อไปนี้ แล้วตั้งชื่อ file ว่า FuncCell\_1.m

```
function [outFunc]=FuncCell_1(x,y,a,an,Xi,Yi);
[X,Y]=rndPoint(x,y,an);
startX=X;
startY=Y;
outFunc(1)=startX;
outFunc(2)=startY;
```

#### 5.2.2.2 เรียกใช้ FuncCell\_1.m โดยพิมพ์ [outFunc]=FuncCell\_1(x1,y1,a,an,X3,Y3);

#### 5.2.2.3 ใช้คำสั่ง plot(outFunc(1),outFunc(2),'bl'); เพื่อพล็อตจุด

#### 5.2.2.4 ใช้คำสั่งดังต่อไปนี้เพื่อแสดง Number of arrival

```
position=position+1;
plot(outFunc(1),outFunc(2),'bl');
user(position,1)=rm1;
user(position,2)=rm2
```

### 5.2.3. ส่วนของการพล็อตจุดที่ผู้ใช้บริการที่ออกจากระบบ

พิมพ์ Code ดังต่อไปนี้

5.3.2.1 ใช้คำสั่ง `plot(xx,yy,'w');` เพื่อพล็อตจุด

5.2.3.2 ใช้คำสั่งดังต่อไปนี้เพื่อแสดง Call Termination

```
position_2=position_2+1;
```

```
xx=user(position_2,1);
```

```
yy=user(position_2,2);
```

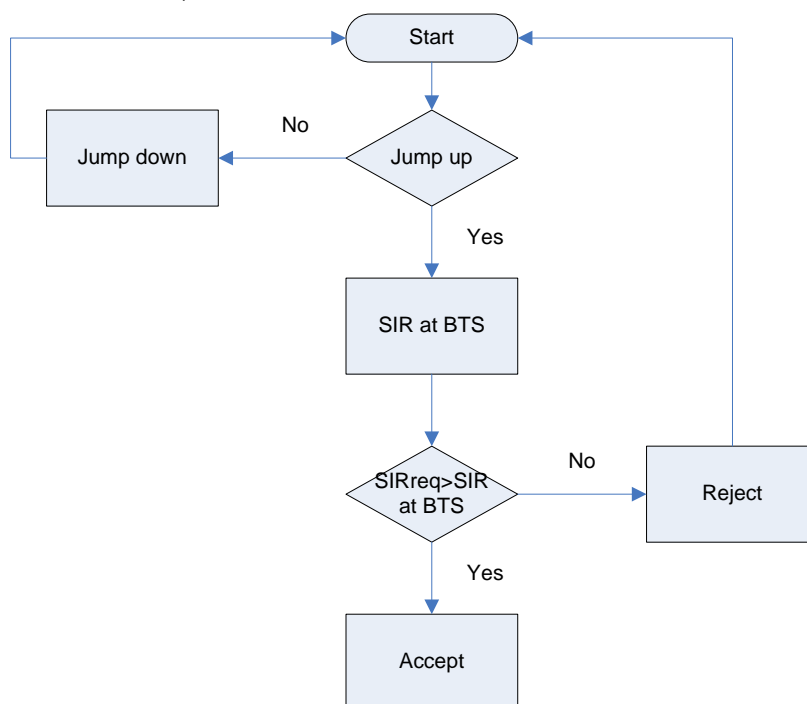
```
plot(xx,yy,'w');
```

### 5.2.4. ส่วนของการพล็อตจุดที่แสดงการเกิดการบล็อก

พิมพ์ Code ดังนี้

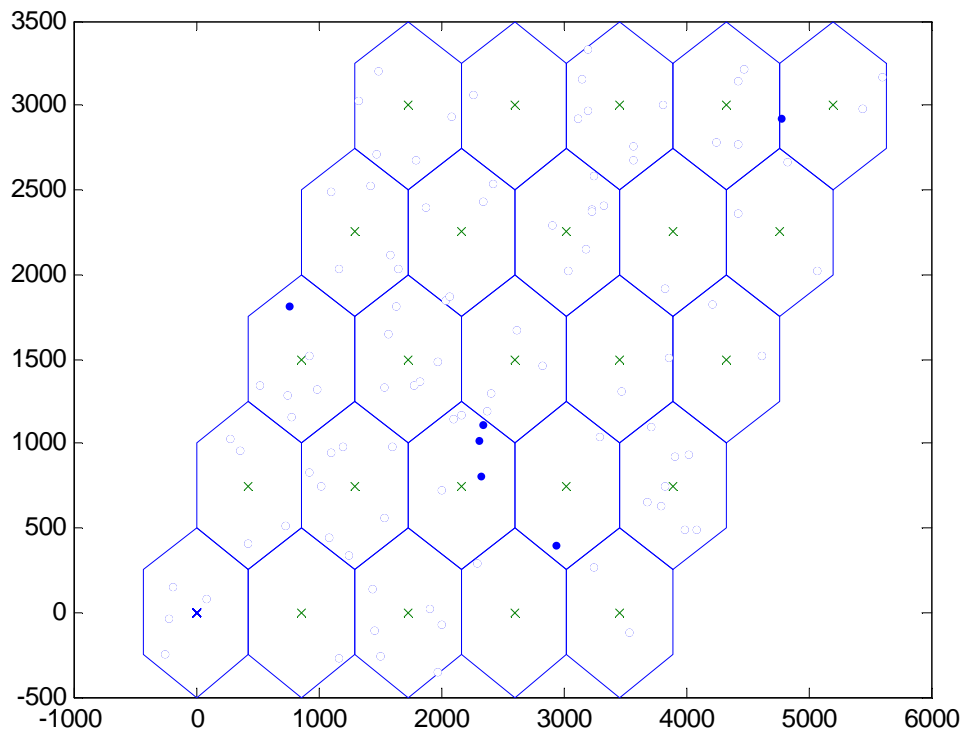
ใช้คำสั่ง `plot(outFunc(1),outFunc(2),'r');` เพื่อพล็อตจุด

ที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 นำมาเขียนเป็นโปรแกรมเพื่อพิจารณาเงื่อนไขในการยอมรับการร้องขอของผู้ใช้บริการเข้าใช้งานในระบบหรือปฏิเสธการการร้องขอการเข้าใช้งานในระบบ แสดง Flow Chart อย่างคร่าวๆ ได้ดังนี้



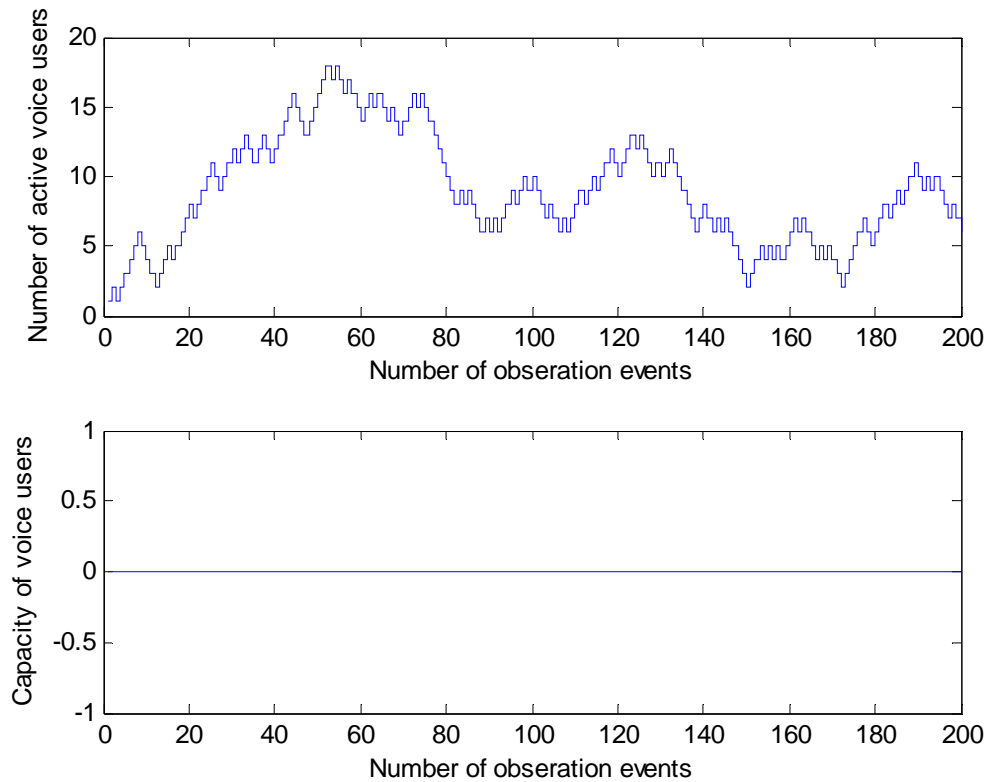
### 5.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม

การทดสอบโปรแกรมเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม โดยพิจารณาให้ Run Length หรือจำนวนการสุ่มตัวอย่างของการ Simulate คือ 200 ครั้ง,  $\lambda = 80$ ,  $\mu = 10$ ,  $W = 1.25$  MHz,  $R_p = 9.6$  kbps,  $\alpha = 3/8$ ,  $\frac{E_b}{N_o} = 5$  (7dB) และ  $SIR_{req} = 0.0384$  (-14.157 dB) ดังรูปต่อไปนี้



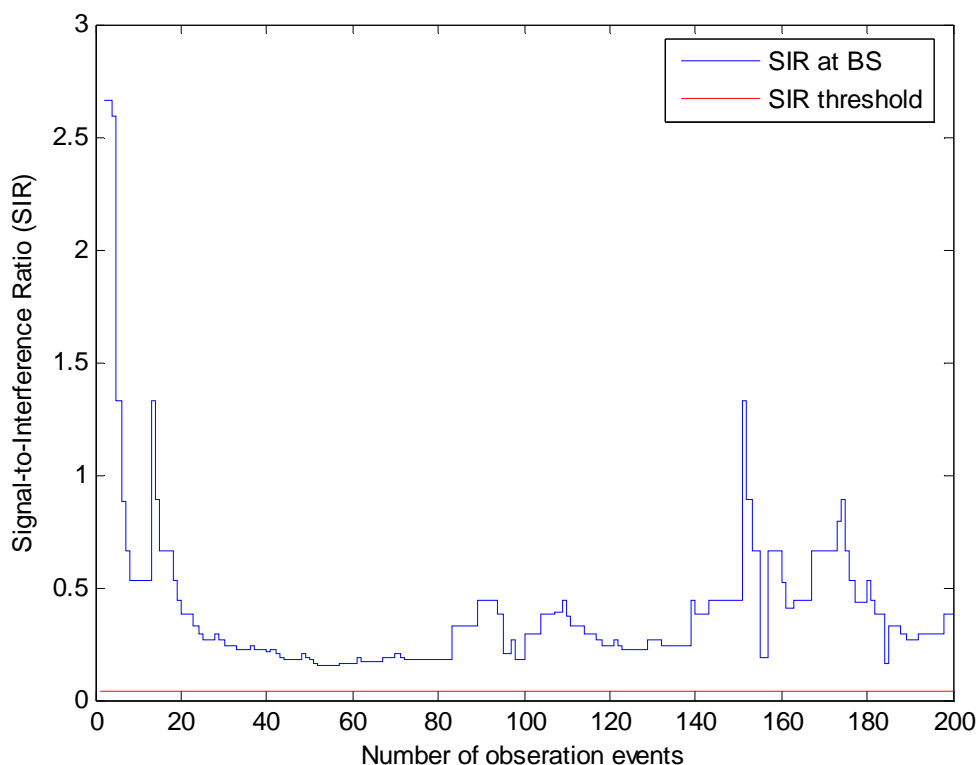
รูปที่ 5.2 แสดงรูปร่าง (Cellular) ในกรณีที่ ไม่เกิดการบล็อก

จากรูปที่ 5.2 เป็นการแสดงรูปร่างในกรณีที่ มีการบล็อกเกิดขึ้น ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าไม่ปรากฏจุดสีแดงเกิดขึ้นเลย มีเพียงจุดสีน้ำเงินเท่านั้นที่แสดงถึงตำแหน่งของผู้ใช้บริการในระบบ ณ เวลาหนึ่งๆ



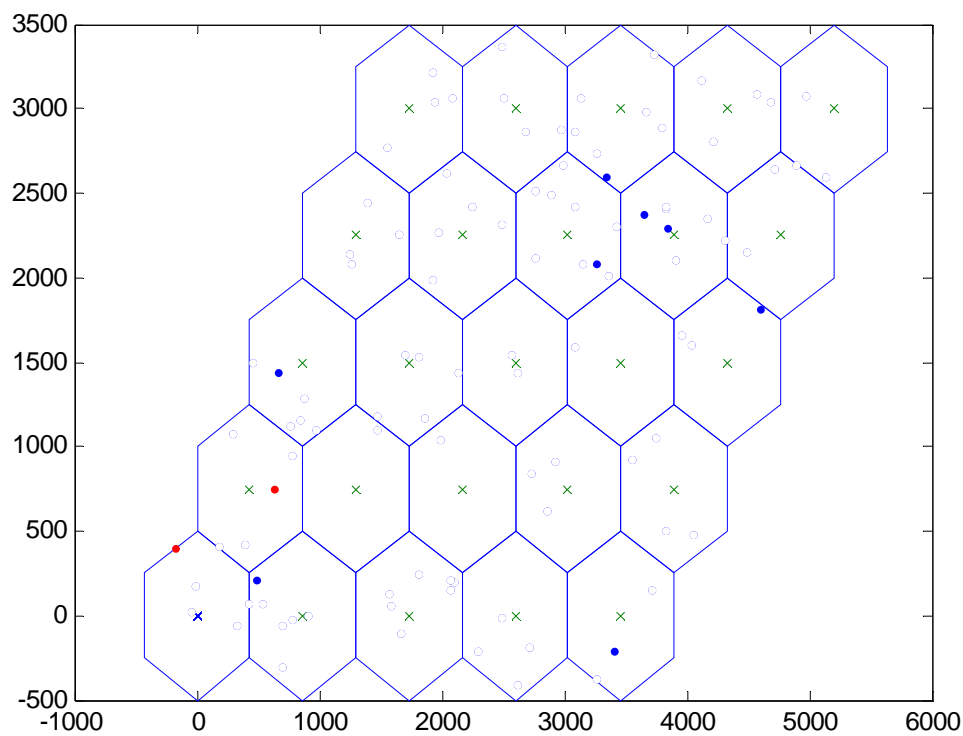
**รูปที่ 5.3** แสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการที่เป็นแบบแอ็กทีฟและจำนวนผู้ใช้บริการในขณะที่ไม่มีการบล็อก

จากรูปที่ 5.3 เป็นการแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการที่เป็นแบบแอ็กทีฟ (Number of Active Voice Users) กับจำนวนผู้ใช้บริการในขณะที่ไม่มีการบล็อกซึ่งเป็นส่วนที่ศึกษาความจุของระบบ (Capacity of Voice Users) จากรูปจะสังเกตเห็นว่าค่าของ Capacity of Voice Users มีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากในระบบไม่เกิดการบล็อกเลย นั่นหมายความว่าในระบบยังสามารถรองรับผู้ใช้บริการได้อีกเรื่อย ๆ



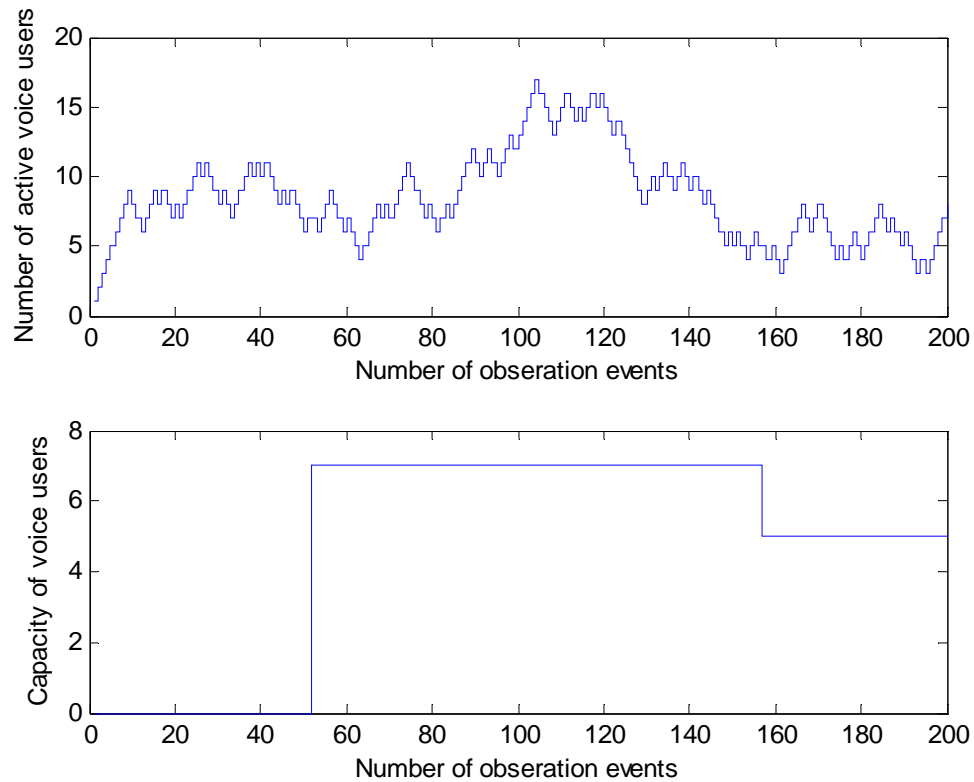
**รูปที่ 5.4** แสดงการเปรียบเทียบค่าเอสไออาที่สถานีฐานรับได้กับค่าเอสไออาที่ต้องการหรือเอสไออาเริ่มต้นที่สถานีฐานสามารถยอมรับได้ในกรณีที่ไม่มีกรบลิ้อก

จากรูปที่ 5.4 พบว่าค่าเอสไออาเริ่มต้นที่สถานีฐานสามารถยอมรับได้นั้นมีค่าเท่ากับ -14.157 dB เมื่อค่าเอสไออาที่สถานีฐานรับได้จากเครื่องลูกข่ายของผู้ใช้บริการมีค่ามากกว่าค่าเอสไออาเริ่มต้นที่สถานีฐานสามารถยอมรับได้ ระบบก็จะยอมให้ผู้ให้บริการที่ทำการร้องขอเข้าใช้งานในระบบได้ นั่นหมายความว่า จะไม่เกิดการบลิ้อกการเข้าใช้งานของผู้ให้บริการ



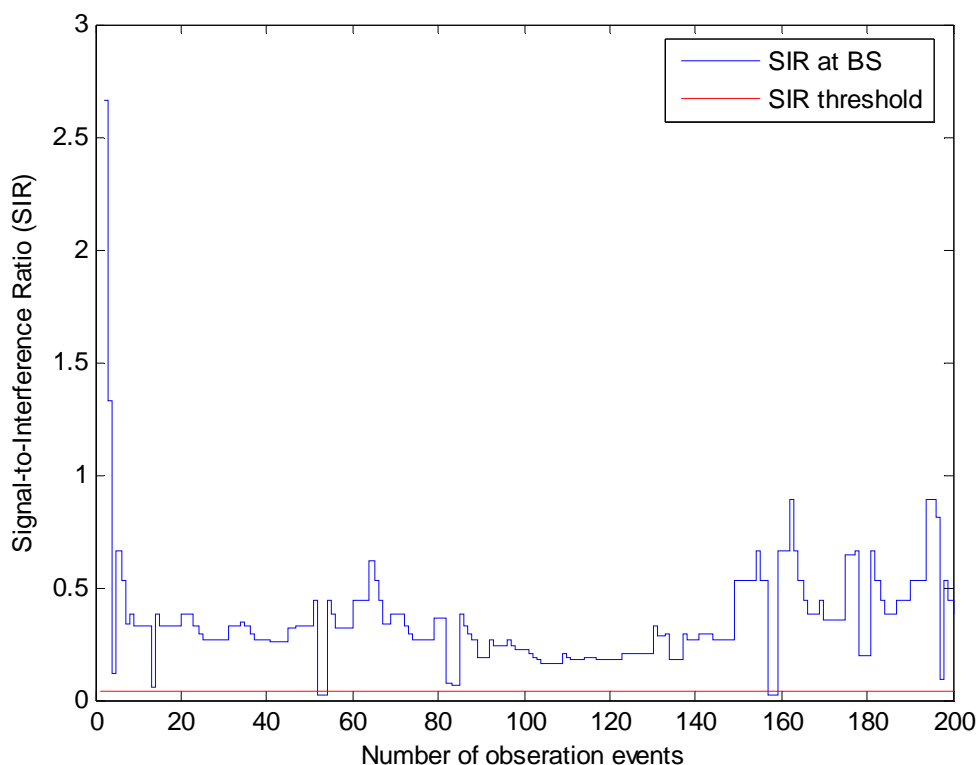
รูปที่ 5.5 แสดงรูปร่าง (Cellular) ในกรณีที่เกิดการบล็อก

จากรูปที่ 5.5 เป็นการแสดงให้เห็นว่าเมื่อผู้ใช้บริการทำการร้องขอเข้าใช้งานในระบบ แล้วเกิดการบล็อกขึ้น หมายความว่าผู้ใช้บริการไม่สามารถเข้าใช้งานในระบบได้ จากรูปจะแสดงจุดสีแดง 2 จุด แสดงว่าเกิดการบล็อก 2 ครั้ง ซึ่งจุดสีแดงเป็นตำแหน่งของผู้ใช้บริการที่เกิดการบล็อก และจุดสีน้ำเงินแสดงถึงตำแหน่งของผู้ใช้บริการในระบบ ณ เวลานั้น ๆ



**รูปที่ 5.6** แสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการที่เป็นแบบแอกทีฟและจำนวนผู้ใช้บริการในขณะที่มีการบล็อก

จากรูปที่ 5.6 หากพิจารณารูปข้างล่างพบว่า จะเกิดการบล็อก 2 ครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 5.5 ที่แสดงจุดสีแดง 2 จุด จากกราฟพบว่า Capacity of Voice Users จะน้อยกว่า Number of Active Voice Users เนื่องจากผลกระทบของสัญญาณรบกวนการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง



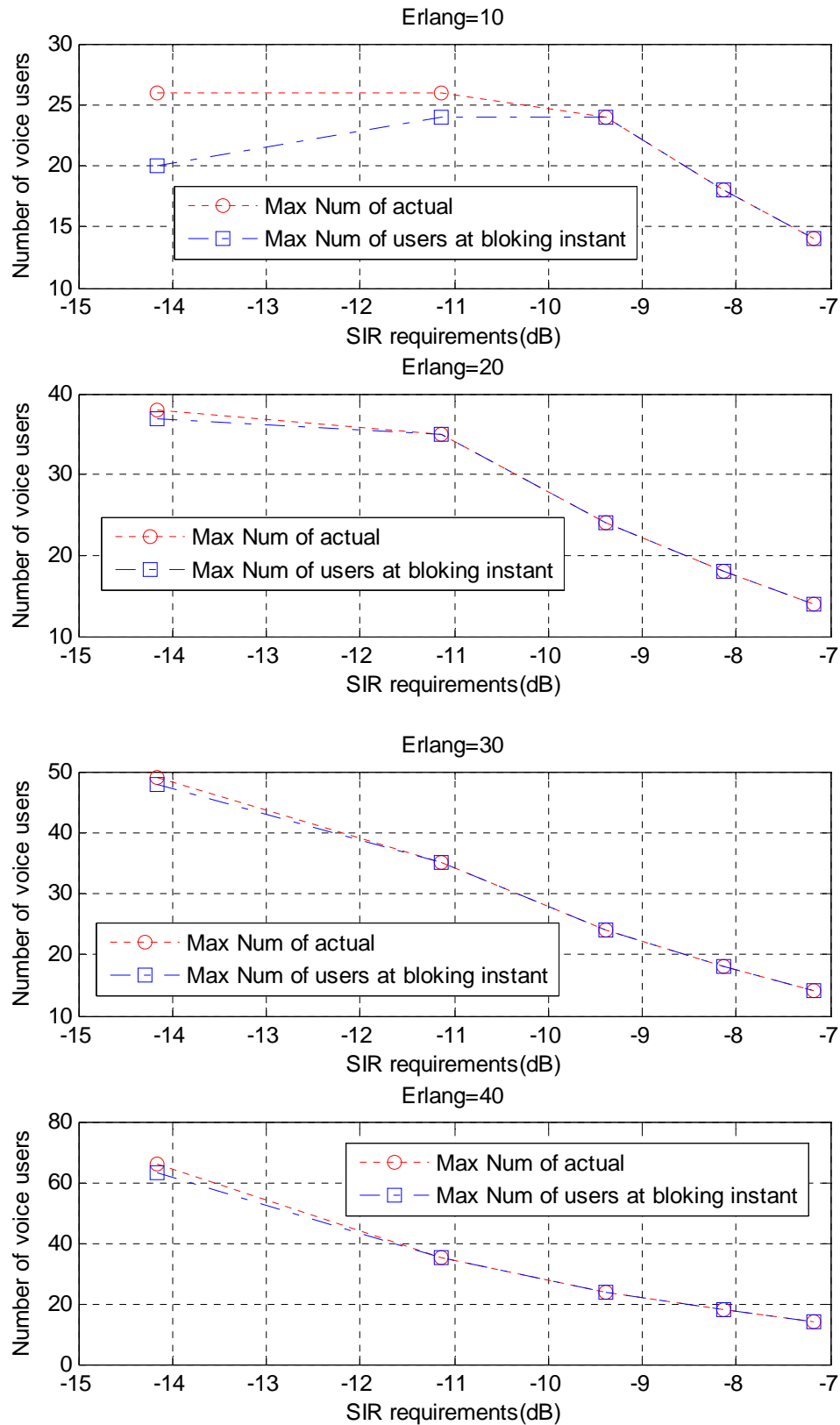
รูปที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าเอสไออาร์ที่สถานีฐานรับได้กับค่าเอสไออาร์ที่ต้องการหรือค่าเอสไออาร์เริ่มต้นที่สถานีฐานสามารถยอมรับได้ในกรณีที่มีการบล็อก

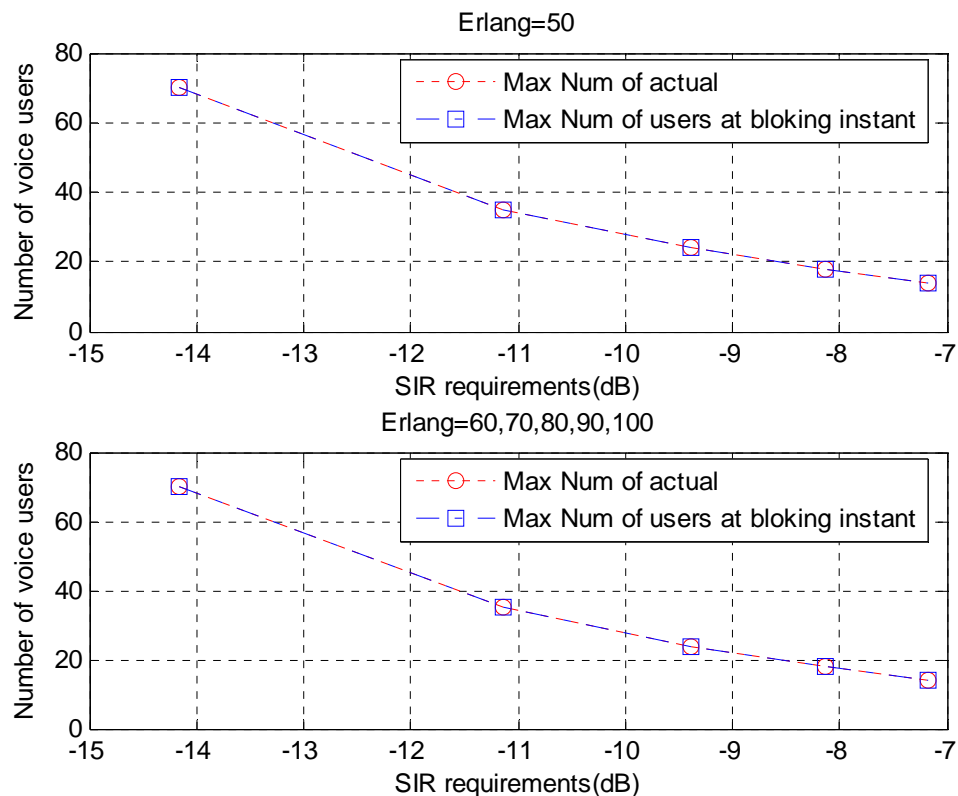
จากรูปที่ 5.7 จากกราฟมีผู้ใช้บริการสองรายที่ระบบปฏิเสธการร้องขอการเข้าใช้งาน เนื่องจากค่าเอสไออาร์ที่สถานีฐานรับได้จากเครื่องลูกข่ายของผู้ใช้บริการทั้งสองราย มีค่าต่ำกว่าค่าเอสไออาร์เริ่มต้นที่สถานีฐานสามารถยอมรับได้ นั่นหมายความว่าเกิดการบล็อกการเข้าใช้งานของผู้ใช้บริการทั้งสองรายขึ้น ผู้ใช้บริการทั้งสองรายจะไม่สามารถเข้าใช้งานในระบบได้ ถ้าต้องการเข้าใช้งานในระบบต้องทำการร้องขอการเข้าใช้งานในระบบใหม่อีกครั้ง



#### 5.4 ผลการวิเคราะห์เชิงเลขของระบบ

ในการวิเคราะห์เชิงเลขของระบบพิจารณาให้ Run Length หรือจำนวนการสุ่มตัวอย่างของการ Simulate คือ 50000 ครั้ง,  $W=1.25$  MHz,  $R_v=9.6$  kbps และ  $\alpha = 3/8$  ได้ผลกราฟดังนี้

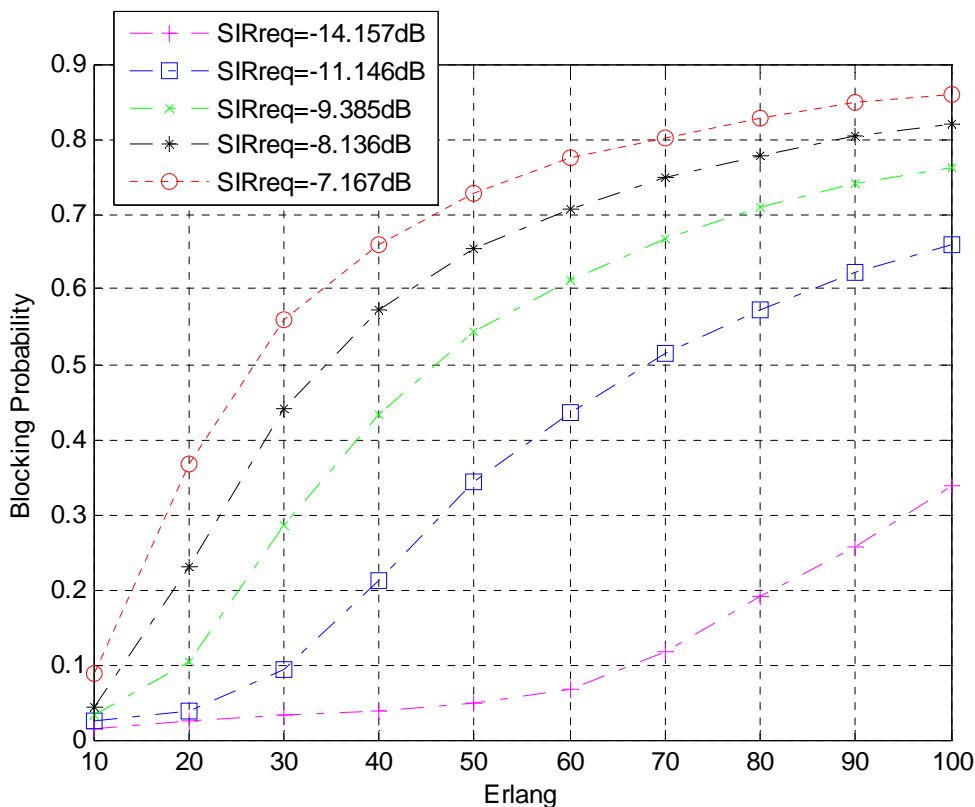




**รูปที่ 5.8** แสดงการเปรียบเทียบค่าสูงสุดของผู้ใช้บริการที่เป็นแบบแอททิฟ(Max Num of actual) กับค่าสูงสุดของความจุของระบบขณะเกิดการบล็อก(Max Num of users at blocking instant) ณ ระดับค่าเอสไออาเริ่มต้นที่สถานีฐาน สามารถยอมรับได้ (SIR requirement) เมื่อกำหนดให้ปริมาณทราฟฟิกมีค่าเป็น 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 เออร์แลงตามลำดับ

จากรูปที่ 5.8 เมื่อปริมาณทราฟฟิกมีค่าน้อย พบว่าค่าสูงสุดของผู้ใช้บริการที่เป็นแบบแอททิฟจะมีค่ามากกว่าค่าสูงสุดของความจุของระบบขณะเกิดการบล็อก (จำนวนผู้ใช้บริการขณะเกิดบล็อก) และจะเริ่มมีค่าเท่ากัน เมื่อปริมาณทราฟฟิกมากขึ้นและระดับเอสไออาเริ่มต้นที่สถานีฐานสามารถยอมรับได้เริ่มมีค่าสูงขึ้น แต่ค่าสูงสุดของความจุของระบบขณะเกิดการบล็อกจะมีค่าไม่เกินค่าสูงสุดของผู้ใช้บริการที่เป็นแบบแอททิฟ เพราะผลกระทบของสัญญาณรบกวนการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง

และจากกราฟพบว่ากราฟมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากระดับเอสไออาเริ่มต้นที่สถานีฐานสามารถยอมรับได้มีค่าสูงขึ้น ระดับเอสไออาเริ่มต้นที่สถานีฐานสามารถยอมรับได้เป็นค่าที่ใช้วัดระดับคุณภาพของช่องสัญญาณ เมื่อมีค่าสูงขึ้นแสดงว่าคุณภาพของช่องสัญญาณมีคุณภาพดี มีสัญญาณแทรกสอดน้อย แต่ในทางตรงข้ามความจุของระบบที่สามารถรองรับผู้ใช้บริการมีค่าลดลง



รูปที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของการเกิดบล็อกเมื่อระดับเอสไออาเริ่มต้นที่สถานีฐานสามารถยอมรับได้ มีค่าเป็น -14.157, -11.146, -9.385, -8.136 และ -7.167 dB ตามลำดับ

จากรูปที่ 5.9 พบว่าเมื่อระดับเอสไออาเริ่มต้นที่สถานีฐานสามารถยอมรับได้มีค่าเพิ่มขึ้น โอกาสที่ผู้ใช้บริการรายหนึ่ง ๆ จะเกิดการบล็อกหรือเข้าใช้งานในระบบไม่ได้ก็เพิ่มมากขึ้นตาม เนื่องจากเอสไออาเริ่มต้นที่สถานีฐานสามารถยอมรับได้เพิ่มขึ้น แต่โอกาสที่ค่าเอสไออาที่สถานีฐานรับได้จากเครื่องลูกข่ายของผู้ใช้บริการยังมีค่าเท่าเดิมจึงทำให้เกิดการบล็อกเพิ่มมากขึ้น

### 5.5 สรุปผลการวิเคราะห์เชิงเลขของระบบ

จากการวิเคราะห์เชิงเลขของระบบ สรุปได้ว่าความจุของระบบCDMAนั้นขึ้นอยู่กับสัญญาณการแทรกสอดเมื่อสัญญาณการแทรกสอดมีค่าเพิ่มขึ้นความจุของระบบจะมีค่าลดลง และตัวชี้วัดคุณภาพของช่องสัญญาณ คือ ค่าระดับเอสไออาเมื่อระดับค่าเอสไออาเริ่มสูงขึ้นแสดงว่าคุณภาพของช่องสัญญาณดีมีสัญญาณการแทรกสอดน้อย แต่ความจุของระบบจะลดลง กล่าวคือความจุของระบบเป็นสัดส่วนผกผันกับระดับค่าเอสไออา

ความจริงของระบบนั้นขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ปัจจัย เช่น การตีมูลค่าของภาครัฐ ความถูกต้องของการควบคุมกำลัง กำลังของสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจริง อันเนื่องมาจากการอื่นทั้งจากภายในเซลล์เดียวกัน และจากเซลล์อื่นข้างเคียง เป็นต้น

## บทที่ 6

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 บทสรุป

โครงการนี้เป็นการนำเสนอโปรแกรมเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ความจุของระบบCDMAในด้านการให้บริการด้านเสียง ซึ่งเป็นการศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อความจุของระบบCDMA และนำเสนอในรูปแบบกราฟฟิกเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์

เมื่อกำหนดให้ Run Length หรือจำนวนการสุ่มตัวอย่างของการ Simulate คือ 50000 ครั้ง  $W=1.25$  MHz,  $R_p=9.6$  kbps,  $\alpha = 3/8$  และ กำหนดให้ปริมาณทราฟฟิกมีค่าเป็น 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 เออร์แลงตามลำดับ พิจารณารูปกราฟ รูปที่ 5.8 เมื่อระดับเอสไออาเริ่มต้นที่สถานะฐานยอมรับได้มีค่าเท่ากับ -14.157 dB ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อ้างอิงมาตรฐาน IS-95 ค่าสูงสุดของผู้ใช้บริการที่เป็นแบบแอทีฟจะมีค่ามากกว่าค่าสูงสุดของความจุของระบบขณะเกิดการบล็อกและเมื่อระดับเอสไออาเริ่มต้นที่สถานะฐานยอมรับได้มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าสูงสุดของผู้ใช้บริการที่เป็นแบบแอทีฟจะมีค่าเท่ากับค่าสูงสุดของความจุของระบบขณะเกิดการบล็อกจากการวิเคราะห์สรุปได้ว่า ค่าสูงสุดของความจุของระบบขณะเกิดการบล็อกจะมีค่าไม่เกินค่าสูงสุดของผู้ใช้บริการที่เป็นแบบแอทีฟเนื่องมาจากสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง และเมื่อเอสไออาเริ่มต้นที่สถานะฐานยอมรับได้มีค่าเพิ่มขึ้น จำนวนผู้ใช้บริการที่สามารถเข้าใช้งานในระบบได้มีค่าลดลง นั่นหมายความว่าความจุของระบบมีค่าลดลง เนื่องจากเอสไออาเริ่มต้นที่สถานะฐานยอมรับได้เป็นตัววัดคุณภาพของช่องสัญญาณ ถ้ามีค่าเพิ่มขึ้นแสดงว่าคุณภาพของช่องสัญญาณคุณภาพดี สัญญาณแทรกสอดน้อย พิจารณารูปที่ 5.9 พบว่าเมื่อเอสไออาเริ่มต้นที่สถานะฐานยอมรับได้มีค่าเพิ่มขึ้น โอกาสเกิดการบล็อกก็เพิ่มขึ้นด้วยดังนั้นเอสไออาเริ่มต้นที่สถานะฐานยอมรับได้เป็นสัดส่วนผกผันกับความจุของระบบ CDMA นอกจากนั้นยังพบว่าตำแหน่งของผู้ใช้บริการเป็นตัวกำหนดปริมาณของสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้น และช่องสัญญาณการเชื่อมโยงจากกลับจะเป็นตัวกำหนดความจุของระบบเนื่องจากเป็นส่วนให้เกิดสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้บริการที่อยู่ในเซลล์ทั้งที่เป็นแบบเซลล์เดี่ยวและแบบหลายเซลล์

#### 6.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. ทางคณะผู้จัดทำโครงการมีความรู้พื้นฐานในการเริ่มเขียน โปรแกรมไม่มากนักทำให้การเริ่มศึกษาการเขียน โปรแกรมนั้นต้องใช้เวลาในการทำความเข้าใจกับโปรแกรม MATLAB รวมทั้งต้องศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับ GUI (Graphic User Interface) ของโปรแกรม MATLAB

2. โปรแกรม MATLAB ใช้เวลาในการประมวลผลค่อนข้างใช้เวลานาน ซึ่งทางคณะผู้จัดทำต้องการเก็บผลจากการ RUN โปรแกรมเพื่อทำการพล็อตกราฟและวิเคราะห์

### 6.3 ขีดจำกัดของโครงการ

1. ตัวโปรแกรมนี้สามารถใช้ศึกษากรณีของระบบ CDMA ที่ให้บริการด้านเสียงได้เท่านั้น
2. ตัวโปรแกรมนี้ยังไม่สามารถแสดงรูปกราฟระดับเอสไออาที่สถานีฐานรับได้จากเครื่องลูกข่ายกับเอสไออาเริ่มต้นที่สถานีฐานยอมรับได้ และแสดงรูปกราฟที่เกี่ยวข้องกับจำนวนของผู้ใช้บริการในขณะที่มีการประมวลผลทาง GUI
3. การลบจุดสีน้ำเงินภายในเซลล์ยังไม่สมบูรณ์เท่าที่ควรเนื่องจากมีจุดบางจุดไปทับขอบของเซลล์เมื่อมีการลบจุดก็จะทำให้เส้นขอบเซลล์นั้นหายไปเท่าขนาดของจุดที่ลบออก

### 6.4 ประโยชน์ที่ได้จากการทำโครงการ

1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบ CDMA
2. มีความรู้ความเข้าใจในการเขียนโปรแกรม MATLAB
3. ช่วยเสริมสร้างทักษะในการทำงานเป็นทีมและการคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ

### 6.5 การนำไปใช้งานของโครงการ

เนื่องจากโครงการนี้เป็นการเขียนโปรแกรมด้วย MATLAB เพื่อจำลองเหตุการณ์ในการศึกษาความจุของระบบ CDMA ดังนั้นการนำไปใช้งานจึงสรุปได้ดังนี้

1. วิเคราะห์ความจุของระบบ CDMA เมื่อจำนวนสถานีฐานเพิ่มขึ้น
2. วิเคราะห์ความจุของระบบ CDMA เมื่อปริมาณทราฟฟิกเพิ่มขึ้น
3. ใช้ศึกษาความสัมพันธ์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อระบบ
4. ใช้ในการคาดเดาเหตุการณ์สำหรับการ Planning เมื่อนำไปใช้งานจริง เช่นเมื่อปริมาณทราฟฟิกเพิ่มขึ้นโอกาสการเกิดบล็อกควรจะเป็นเท่าไรเพื่อหาวิธีในการแก้ไขปัญหาและจะเพิ่มความจุของระบบได้อย่างไร เป็นต้น

### 6.6 ข้อเสนอแนะ

ควรพัฒนาโปรแกรมให้สามารถใช้วิเคราะห์และศึกษาระบบ CDMA ได้ทั้งการบริการด้านเสียงและการบริการด้านข้อมูล และแสดงผลทางเอาต์พุตเป็นรูปภาพเมื่อทำการประมวลผลด้วย GUI ของโปรแกรม MATLAB เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์

### บรรณานุกรม

- [1] Kiseon Kim , and Insoo Koo. CDMA Systems Capacity Engineering.Artech House, Inc., 2005.
- [2] T. Nguyen, P.Dassanayake and M.Faulkner. “Capacity of CDMA Cellular System With Adaptive Sectorisation and Non-Uniform Traffic,” PO Box 14428, MCMC Melbourn, VIC 8001, AUSTRALIA, Victoria University of Tecchnology
- [3] Gilhousen,K S., et al., “On the Capacity of a Cellular CDMA System,” IEEE Trans. On Vehicular Technologg, 1991, pp. 303-312.
- [4] อำนวย เตโชติชวาล. การวิเคราะห์ความจุเออร์แลงของระบบเซลลูลาร์ CDMA เพื่อรองรับ ผู้ใช้บริการเสียงและข้อมูล.กรุงเทพมหานคร : วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม-บัณฑิตวิทยาลัย.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546.
- [5] ลัญฉกร วุฒิสัทติกุลกิจ. เทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย CDMA .กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรมหาวิทยาลัย, 2548.
- [6] ลัญฉกร วุฒิสัทติกุลกิจ. หลักการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ .กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรมหาวิทยาลัย, 2546.
- [7] สุนิสา จบศรี และ อำนวย ทีจันทิก. การศึกษาปริมาณทราฟฟิกของระบบโทรศัพท์.นครราชสีมา: วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม-บัณฑิตมหาวิทยาลัย.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2549.
- [8] พงษ์ศักดิ์ สุสัมพันธุ์ไพบูลย์. ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่.กรุงเทพมหานคร: บริษัท สำนักพิมพ์ดวงกมล (2520) จำกัด, 2542.
- [9] มนัส สังวรศิลป์ และ วรรัตน์ ภัทรอมรกุล. คู่มือการใช้ MATLAB ฉบับสมบูรณ์.นนทบุรี: สำนักพิมพ์ อินโฟเพรส, 2543.

### ประวัติผู้เขียน

นายศุภกร วรรณพันธ์ เกิดเมื่อวันศุกร์ที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2527 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลกุดปลาตุก อำเภอเมือง จังหวัดอำนาจเจริญ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนนาวังวิทยา อำเภอเมือง จังหวัดอำนาจเจริญ เมื่อปี พ.ศ. 2545 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โทร 083-919-2453

นายจิตเรศ สายสุทธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2527 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนปทุมเทพวิทยาคาร อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย เมื่อปี พ.ศ. 2545 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โทร 086-719-5972



## ภาคผนวก

### 1. Main Program for CDMA simulation Program

```
%=====MAIN PROGRAM=====
%=====Hexagonal cell=====

clear all; close all; clc;

x=0;
y=0;

a=500;          %cell raduis (unit m)
an = (sqrt(3)*a/2); %smallest raduis
A=(pi/3)*[1 2 3 4 5 6 1];
l=5;
j=5;
for e=0 : l-1
    for i=0 : j-1
        xi=x+(i*2)*(sqrt(3)*a/2)+(e)*(sqrt(3)*a/2);
        yi=y+e*(3*a/2);
        Xi=a*sin(A)+xi;
        Yi=a*cos(A)+yi;
        plot(x,y,'x',xi,yi,'x');
        plot(Xi,Yi);
        hold on;
    end
end

%=====Traffic Channel=====

Z=200; %duration of observation time
T=0;  %accumulation of time intervals
Nv=0; %number of active users
B=0;  %number of block call
k=0;  %initial state of Nv
v=0;  %index of call arrivls
lamda=80; %mean call arrival rate
```

```

mew=10;    %(1/mew) is the mean call duration
cell_Area=2.6*a^2; %area of cell
n_Nv=0;
W_sb=1250; %spreading bandwidth (unit kHz)
R_v=9.6;   %information data rate for the voice group (unit kbps)
alpha=3/8;          %voice activity factor
Eb_No_req=5;        %required Eb/No
SIR_req=(R_v/W_sb)*(Eb_No_req); %required SIR
SIR_req_dB=10*log10(SIR_req);
position=0;
position_2=0;
dd=0;
for z=1:Z
    alfa=lamda+k*mew;
    t(z)=random('exp',alfa,1,1); %exponential RV of time between events
    T=t(z)+T;          %time accumulation
    Time(z)=T;
    %Determine the jumping probability at instant k
    PJ_up=lamda/alfa;
    PJ_down=k*mew/alfa;
    if rand(1,1)<=PJ_up
%=====random position of voice users=====
        cl= randint(1,1,[1,1]);
        cj= randint(1,1,[1,j]);
        e=cl-1;
        i=cj-1;
        x1=x+(i*2)*(sqrt(3)*a/2)+(e)*(sqrt(3)*a/2);
        y1=y+e*(3*a/2);
        [outFunc]=FuncCell_1(x1,y1,a,an,Xi,Yi);
        rm1=outFunc(1);
        rm2=outFunc(2);
        pause(0);
    end
end

```

```

rm=sqrt(((rm1-x1)^2)+((rm2-y1)^2));    %distance from its cell site
ro=sqrt(((rm1-x)^2)+((rm2-y)^2));    %distance from the cell site of desired user

%=====CDMA solution=====

Guass_1=0+8*randn(1,1);
Guass_2=0+8*randn(1,1);
X=((rm/ro)^4)*(10^((Guass_1-Guass_2)/10));
if X<=1
    Phi=1;
else
    Phi=0;
end

rnd=binornd(1,alpha);
if rnd==1
    phi=1;
else
    phi=0;
end

Nv=Nv+1;

Area = cell_Area*i*j;    %all area
p_v=((2*Nv)/(sqrt(3)))*i*j/Area;    %voice user density
I_Sv=phi*(p_v)*X*Phi *Area;    %inter-sector interference
SIR_v=1/((alpha*((Nv-1))+I_Sv));    %signal-to-interference ratio (SIR) at BS

%=====

if SIR_v>SIR_req
    Nv=Nv;

    position=position+1;    %count number of arrival
    plot(outFunc(1),outFunc(2),'bl');    %plot the position voice users
    user(position,1)=rm1;    % x position voice users
    user(position,2)=rm2;    % y position voice users

    if z>0.1*Z
        v=v+1;
    end
end

```

```

else
    Nv=Nv-1;
    if z>0.1*Z
        B=B+1;
        n_Nv = Nv;
        number_Nv(z)=n_Nv;
        dd=dd+1;
        plot(outFunc(1),outFunc(2),'r');%plot the position of blocking
    end
end

else
    if Nv>0
        Nv=Nv-1;
        position_2=position_2+1;          %count number of call termination
        xx=user(position_2,1);            % x position of call termination
        yy=user(position_2,2);            % y position of call termination
        plot(xx,yy,'w');                  %plot the call termination
    end
end

NumberCh(z)= Nv;                        %number of active voice users
number_Nv(z)=n_Nv;                      %capacity of voice users
SIR_vv(z)=SIR_v;                        %signal-to-interference ratio (SIR) at BS
SIR_require(z)=SIR_req;

k= Nv; %update state of busy channels
dd;

end

max_Ch = max(NumberCh)
max_Nv = max(number_Nv);

%number of total arrival calls=arrived calls+blocked calls
totalarr=v+B;

ProbB=B/totalarr %proportion of simulated blocked calls

```

```

%=====
figure(3)

z1=1:Z;

subplot(2,1,1);

stairs(z1,NumberCh);

xlabel('Number of obseration events');

ylabel('Number of active voice users');

subplot(2,1,2);

stairs(z1,number_Nv);

xlabel('Number of obseration events');

ylabel('Capacity of voice users');


figure(4)

stairs(z1,SIR_vv);

hold on

stairs(z1,SIR_require,'r');

xlabel('Number of obseration events');

ylabel('Signal-to-Interference Ratio (SIR)');

legend('SIR at BS','SIR threshold');

%=====

```

## 2. โปรแกรมที่ใช้สำหรับกลุ่มผู้ใช้บริการในระบบ

```
%=====Random point=====

function [X,Y]=rndPoint(orgX,orgY,an);

p1=random('exponential',1,1);
p2=random('exponential',1,1);

h1=rand*an;
k1=rand*an;

while sqrt((h1)^2+(k1)^2) > an
    h1=rand*an;
    k1=rand*an;
end;

c = randint(1,1,[1,4]);
switch c
    case 1
        H1=-h1; K1=-k1;
    case 2
        H1=-h1; K1=k1;
    case 3
        H1=h1; K1=-k1;
    case 4
        H1=h1; K1=k1;
end

X=H1+orgX;
Y=K1+orgY;

%=====
```

### 3. โปรแกรมสำหรับหาดำแหน่งที่ผู้ใช้บริการเข้ามา ตำแหน่งที่ออกจากระบบ

```
%=====Create cell=====

function [outFunc]=FuncCell_1(x,y,a,an,Xi,Yi);

%====Random position call arrival=====

[X,Y]=rndPoint(x,y,an);

startX=X;

startY=Y;

outFunc(1)=startX;

outFunc(2)=startY;

%=====
```

### ภาคผนวก (ก)

#### 1. Main Program for CDMA simulation Program

```
%=====MAIN PROGRAM=====
%=====Hexagonal cell=====

clear all; close all; clc;

x=0;
y=0;

a=500;          %cell raduis (unit m)
an = (sqrt(3)*a/2); %smallest raduis
A=(pi/3)*[1 2 3 4 5 6 1];
l=5;
j=5;
for e=0 : l-1
    for i=0 : j-1
        xi=x+(i*2)*(sqrt(3)*a/2)+(e)*(sqrt(3)*a/2);
        yi=y+e*(3*a/2);
        Xi=a*sin(A)+xi;
        Yi=a*cos(A)+yi;
        plot(x,y,'x',xi,yi,'x');
        plot(Xi,Yi);
        hold on;
    end
end

%=====Traffic Channel=====

Z=200; %duration of observation time
T=0;  %accumulation of time intervals
Nv=0; %number of active users
B=0;  %number of block call
k=0;  %initial state of Nv
v=0;  %index of call arrivls
lamda=80; %mean call arrival rate
```



```

mew=10;    %(1/mew) is the mean call duration
cell_Area=2.6*a^2; %area of cell
n_Nv=0;
W_sb=1250; %spreading bandwidth (unit kHz)
R_v=9.6;   %information data rate for the voice group (unit kbps)
alpha=3/8;          %voice activity factor
Eb_No_req=5;        %required Eb/No
SIR_req=(R_v/W_sb)*(Eb_No_req); %required SIR
SIR_req_dB=10*log10(SIR_req);
position=0;
position_2=0;
dd=0;
for z=1:Z
    alfa=lamda+k*mew;
    t(z)=random('exp',alfa,1,1); %exponential RV of time between events
    T=t(z)+T;          %time accumulation
    Time(z)=T;
    %Determine the jumping probability at instant k
    PJ_up=lamda/alfa;
    PJ_down=k*mew/alfa;
    if rand(1,1)<=PJ_up
%=====random position of voice users=====
        cl= randint(1,1,[1,1]);
        cj= randint(1,1,[1,j]);
        e=cl-1;
        i=cj-1;
        x1=x+(i*2)*(sqrt(3)*a/2)+(e)*(sqrt(3)*a/2);
        y1=y+e*(3*a/2);
        [outFunc]=FuncCell_1(x1,y1,a,an,Xi,Yi);
        rm1=outFunc(1);
        rm2=outFunc(2);
        pause(0);
    end
end

```

```

rm=sqrt(((rm1-x1)^2)+((rm2-y1)^2));    %distance from its cell site
ro=sqrt(((rm1-x)^2)+((rm2-y)^2));    %distance from the cell site of desired user

%=====CDMA solution=====

Guass_1=0+8*randn(1,1);
Guass_2=0+8*randn(1,1);
X=((rm/ro)^4)*(10^((Guass_1-Guass_2)/10));
if X<=1
    Phi=1;
else
    Phi=0;
end

rnd=binornd(1,alpha);
if rnd==1
    phi=1;
else
    phi=0;
end

Nv=Nv+1;

Area = cell_Area*i*j;    %all area
p_v=((2*Nv)/(sqrt(3)))*i*j/Area;    %voice user density
I_Sv=phi*(p_v)*X*Phi *Area;    %inter-sector interference
SIR_v=1/((alpha*((Nv-1))+I_Sv));    %signal-to-interference ratio (SIR) at BS

%=====

if SIR_v>SIR_req
    Nv=Nv;

    position=position+1;    %count number of arrival
    plot(outFunc(1),outFunc(2),'bl');    %plot the position voice users
    user(position,1)=rm1;    % x position voice users
    user(position,2)=rm2;    % y position voice users

    if z>0.1*Z
        v=v+1;
    end
end

```

```

else
    Nv=Nv-1;
    if z>0.1*Z
        B=B+1;
        n_Nv = Nv;
        number_Nv(z)=n_Nv;
        dd=dd+1;
        plot(outFunc(1),outFunc(2),'r');%plot the position of blocking
    end
end

else
    if Nv>0
        Nv=Nv-1;
        position_2=position_2+1;          %count number of call termination
        xx=user(position_2,1);            % x position of call termination
        yy=user(position_2,2);            % y position of call termination
        plot(xx,yy,'w');                  %plot the call termination
    end
end

NumberCh(z)= Nv;                        %number of active voice users
number_Nv(z)=n_Nv;                      %capacity of voice users
SIR_vv(z)=SIR_v;                        %signal-to-interference ratio (SIR) at BS
SIR_require(z)=SIR_req;

k= Nv; %update state of busy channels
dd;

end

max_Ch = max(NumberCh)
max_Nv = max(number_Nv);

%number of total arrival calls=arrived calls+blocked calls
totalarr=v+B;

ProbB=B/totalarr %proportion of simulated blocked calls

```

```

%=====
figure(3)

z1=1:Z;

subplot(2,1,1);

stairs(z1,NumberCh);

xlabel('Number of obseration events');

ylabel('Number of active voice users');

subplot(2,1,2);

stairs(z1,number_Nv);

xlabel('Number of obseration events');

ylabel('Capacity of voice users');


figure(4)

stairs(z1,SIR_vv);

hold on

stairs(z1,SIR_require,'r');

xlabel('Number of obseration events');

ylabel('Signal-to-Interference Ratio (SIR)');

legend('SIR at BS','SIR threshold');

%=====

```

## 2. โปรแกรมที่ใช้สำหรับกลุ่มผู้ใช้บริการในระบบ

```
%=====Random point=====

function [X,Y]=rndPoint(orgX,orgY,an);
p1=random('exponential',1,1);
p2=random('exponential',1,1);
h1=rand*an;
k1=rand*an;
while sqrt((h1)^2+(k1)^2) > an
    h1=rand*an;
    k1=rand*an;
end;
c = randint(1,1,[1,4]);
switch c
    case 1
        H1=-h1; K1=-k1;
    case 2
        H1=-h1; K1=k1;
    case 3
        H1=h1; K1=-k1;
    case 4
        H1=h1; K1=k1;
end
X=H1+orgX;
Y=K1+orgY;
%=====
```

### 3. โปรแกรมสำหรับหาดำแหน่งที่ผู้ใช้บริการเข้ามา ตำแหน่งที่ออกจากระบบ

```
%=====Create cell=====

function [outFunc]=FuncCell_1(x,y,a,an,Xi,Yi);

%====Random position call arrival=====

[X,Y]=rndPoint(x,y,an);

startX=X;

startY=Y;

outFunc(1)=startX;

outFunc(2)=startY;

%=====
```

## ภาคผนวก (ข)

## ตอบคำถามในการสอบโครงการงานวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาคเรียนที่ 3 / 2549

1. ปริมาณทราฟฟิคที่ใช้งานจริงมีค่าเท่าใด

ตอบ = เนื่องจากระบบ CDMA ได้จัดแบ่งความถี่ที่มีอยู่ทั้งหมดออกเป็นช่วง โดยแต่ละช่วงมีความกว้างเท่ากับ 1.25 MHz โดยวิธี CDMA สังเกตว่าคลื่นพาห์หนึ่งความถี่มีขนาดแบนด์วิดท์ที่กว้างกว่าของระบบอื่น ๆ เช่น GSM (200 kHz) มาก ด้วยขนาดแบนด์วิดท์ที่กว้างขนาดนี้ CDMA จึงอนุญาตให้ผู้ใช้โทรศัพท์จำนวนมากจำนวนหนึ่งส่งสัญญาณเสียงลงบนคลื่นความถี่เดียวกันได้ ซึ่งหมายความว่าผู้ใช้ทุกๆ คนที่ใช้คลื่นพาห์เดียวกันจะรบกวนกันในเชิงความถี่ตลอดเวลาการใช้งาน หากแต่ว่าโทรศัพท์แต่ละเครื่องจะสามารถแยกแยะว่าสัญญาณส่วนใดที่เป็นของตนเองได้โดยอาศัยชุดรหัสที่แตกต่างกันในการรับและส่งข้อมูล ชุดรหัสที่ใช้ในการทำสเปรดสเปกตรัมเหล่านี้มีชื่อว่า PN (Pseudorandom Noise) ซึ่งชุดรหัสแต่ละชุดที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติที่เรียกว่า Orthogonal กับชุดรหัสอื่น ๆ ทั้งหมด ดังนั้นจำนวนช่องสัญญาณของระบบ CDMA จึงขึ้นอยู่กับค่าเอสไออาร์เริ่มต้นที่สถานีฐานสามารถยอมรับได้จึงเป็นเรื่องยากที่จะสามารถคำนวณปริมาณทราฟฟิคได้

2. ผลกระทบที่เกิดจากปัญหาความใกล้-ไกล หรือ Near – Far effect และ Power Control มีผลอย่างไรต่อระบบ

ตอบ = ในการจำลองเหตุการณ์สำหรับการศึกษาความจุของเครือข่ายระบบ CDMA ในโครงการนี้เราได้สมมติให้ระบบมีการควบคุมกำลังส่งของเครื่องลูกข่ายอย่างสมบูรณ์แบบ (Perfect Power Control) ดังนั้นปัญหาความใกล้-ไกล จึงไม่ส่งผลกระทบต่อระบบ

3. ค่าเอสไออาร์เริ่มต้นที่สถานีฐานสามารถยอมรับได้มีค่าคิดลบได้อย่างไร

ตอบ = เนื่องจากสูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าเอสไออาร์เริ่มต้นที่สถานีฐานสามารถยอมรับได้มีค่าดังนี้

$$(SIR)_{req} = \frac{R_v}{W} \left( \frac{E_b}{N_o} \right)_{req}$$

จากตารางแสดงพารามิเตอร์ของระบบ CDMA ที่รองรับการบริการด้านเสียง IS-95 เมื่อแทนค่าในสูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าเอสไออาร์เริ่มต้นที่สถานีฐานสามารถยอมรับจะทำให้ค่าเอสไออาร์เริ่มต้นที่สถานีฐานสามารถยอมรับได้มีค่าคิดลบเมื่อแปลงเป็นหน่วยเป็นเดซิเบล

ตารางแสดงพารามิเตอร์ของระบบ CDMA ที่รองรับการบริการด้านเสียง IS-95

Item	Symbol	Value
Bandwidth	$W$	1.25 MHz
Voice activity factor	$\alpha$	0.375
Information data rate for the voice group	$R_v$	9.6 Kbps
Quality requirement for the data group	$\left( \frac{E_b}{N_o} \right)_{v_{req}}$	5(7 dB)